

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**Optimização de circuitos e indicadores
de recolha de resíduos urbanos.
Caso de estudo: Município de Almada**

Manuel Miguel Vitória Torres de Carvalho

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais

Orientadora: Prof^a Doutora Maria da Graça Martinho

Co-orientador: Prof. Doutor Nuno Videira

Lisboa, 2008

Esta dissertação foi realizada no âmbito do estágio profissional que o autor efectuou na Divisão de Salubridade da Câmara Municipal de Almada, entre Janeiro e Agosto de 2008, e que consistiu na optimização dos circuitos diurnos de recolha de RSU indiferenciados do município de Almada, com o recurso aos softwares SIG Geomedia e Fleetroute.

AGRADECIMENTOS

A concretização da presente dissertação só foi possível, graças à contribuição de múltiplas condições propícias a que tal acontecesse. O contexto municipal da pesquisa, dotado de uma multiplicidade de práticas de gestão de sistemas ambientais, aliado às características peculiares dos sistemas de informação geográfica disponíveis, afigurava-se, por um lado, deveras motivador e, por outro, um desafio difícil de concretizar.

Todavia, a investigação teve o seu curso e o seu fim, o qual, só se tornou realidade, devido ao contributo de todos os que desta caminhada fizeram parte, aos quais quero prestar o meu agradecimento.

O primeiro agradecimento dirige-se à Prof^a Doutora Maria Graça Martinho, pela forma como me orientou, e me fez agudizar o gosto pela gestão de resíduos, área de uma importância premente para as sociedades actuais, de que todos dependemos mas tão poucos reconhecemos. Pelo modo como me apoiou e acreditou em mim.

Ao Prof. Doutor Nuno Videira, igualmente pela forma como me orientou, permitindo-me interligar conhecimentos referentes à área de gestão, cruciais para o desenvolvimento da presente dissertação. Pelo seu apoio e incentivo no decorrer desta etapa.

À Eng^a Maria do Carmo Antão, chefe da Divisão de Salubridade da Câmara Municipal de Almada (DS/CMA), por me ter proporcionado a excelente oportunidade de desenvolver o estágio na nesta Divisão, e por me ter acompanhado ao longo deste percurso fundamental para a concretização da presente dissertação.

À Eng^a Patrícia Colaço e ao Eng^o Rafael Neves, da DS/CMA, que acompanharam de perto o desenvolvimento deste projecto, dando-mo a conhecer e facultando-me as ferramentas e conhecimentos fundamentais para a optimização de circuitos de recolha de resíduos urbanos, agradeço todo o apoio, orientação, aconselhamento e companheirismo.

Aos restantes colaboradores do Parque de Vale Figueira da Câmara Municipal de Almada, pela sua camaradagem, boa disposição e pela forma como me fizeram sentir “parte da equipa”.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram, pelos modelos que são, pela força que transmitem e por me ensinarem a dedicar-me verdadeiramente em tudo aquilo que faço.

À minha irmã Mafalda, pelas palavras de apoio e pela boa disposição de sempre.

Aos colegas que me apoiaram, pelas ideias, humor e até desespero partilhado.

À Rita pelo apoio, coragem, dedicação e amor. Por acreditar sempre em mim, por vezes mais que eu próprio.

SUMÁRIO

Dentro do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), a componente recolha e transporte de resíduos é uma das mais dispendiosas, por envolver um grande número de viaturas e de mão-de-obra. É também uma componente que pode originar impactes ambientais e sociais negativos, se não for criteriosamente planeada e gerida. Por estes motivos, o planeamento de circuitos de recolha de RSU equilibrados e otimizados é fundamental para se conseguir a sustentabilidade económica, social e ambiental destes sistemas. Contudo, o problema da optimização de circuitos não tem uma solução única e exacta, e envolve uma complexidade ainda maior que o problema típico do caixeiro-viajante da investigação operacional. Este problema pode ser aplicado a vários contextos reais, como a recolha de RSU, com recurso a metaheurísticas que possibilitam a obtenção de resultados mais positivos.

A Câmara Municipal de Almada (CMA) com o objectivo de otimizar os circuitos de recolha de RSU, adquiriu um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o Fleetroute, especialmente concebido para otimizar circuitos de recolha de resíduos, e que permite a importação da informação existente no Geomedia, o SIG utilizado pelo município. Adicionalmente, a CMA estabeleceu como objectivo implementar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) e certificá-lo de acordo com o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS).

No âmbito da realização de um estágio realizado na Divisão de Salubridade da CMA (DSCMA), que decorreu de Janeiro a Agosto de 2008, e que teve por objectivo ajudar a equipa da DSCMA a desenvolver e implementar o seu projecto de optimização de circuitos, o autor desta dissertação aproveitou a oportunidade para desenvolver o seu trabalho de investigação nesta área.

Os objectivos definidos foram, por um lado, acompanhar e registar os pontos fortes e fracos da implementação do processo de optimização de circuitos de recolha de RSU no Concelho de Almada e, por outro lado, desenvolver e aplicar indicadores de desempenho do sistema de recolha de RSU, antes e após a optimização, que possibilitem a avaliação dos benefícios operacionais, ambientais e económicos da optimização. Para que estes indicadores pudessem ser igualmente úteis ao futuro SGA da CMA, foram construídos e organizados de acordo com as recomendações da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, para permitir avaliar convenientemente o desempenho ambiental do sistema de recolha de RSU.

Deste modo, nesta dissertação descrevem-se, com grande detalhe, os vários passos tomados com o propósito de criar, verificar, editar e implementar os circuitos otimizados. Referem-se ainda os problemas e as dificuldades encontradas e a forma como foram ultrapassados, os métodos desenvolvidos para a análise da optimização e as verificações necessárias, assuntos que poderão ser bastante úteis para outros técnicos e investigadores que actuam nesta área.

São igualmente apresentados os resultados dos indicadores obtidos para os circuitos diurnos de RSU indiferenciados, antes e após a optimização. Embora ainda não tenha sido possível a sua verificação final no terreno, processo que ainda se encontra em desenvolvimento, a optimização dos circuitos diurnos de recolha de RSU indiferenciados permitiram já prever a redução de uma viatura.

SUMMARY

Within the municipal solid waste (MSW) management system, the waste collection and transportation component is one of the most expensive, for it involves a great number of vehicles and man power. It is also a component which can result in negative environmental and social impacts if not carefully planned and managed. Because of this, it is fundamental to plan balanced and optimized MSW collection routes, in order to achieve economical, social and environmental sustainability for these systems. However, there is no unique and exact solution for the route optimization problem since it involves an even greater complexity than the classic Traveling Salesman Problem from the operational investigation. It can be applied to several real contexts, like RSU collection, resorting to metaheuristics, which allow obtaining more positive results.

Almada's Municipality, following the objective of MSW collection routes optimizing, acquired a Geographic Information System (GIS), Fleetroute, specially conceived for optimizing waste collection routes, that allows importing the information stored in the GIS adopted for all the municipality, Geomedia. Additionally, Almada's Municipality has established as an objective to implement an Environmental Management System (EMS) and certify it according to the Eco-Management and Audit Scheme (EMAS).

During a professional internship at the Salubrity Division of Almada's Municipality (SDAM), which took place from January to August 2008, and had the objective of supporting SDAM's team at developing and implementing the route optimization project, the author of this dissertation has taken the opportunity of developing his investigation work in the study area.

The established objectives were, for once, to follow the implementation of the MSW routes optimization process in Almada's Municipality, and in addition, to develop and apply performance indicators for the MSW collection system, before and after optimization, that allow the operational, environmental and economical benefits evaluation of the optimization. In order for these indicators to be equally useful to the future Almada's Municipality's EMS, they were built and organized according to the European Comition's recommendations of the 10th July 2003 to conveniently being capable of evaluating the MSW collection system's environmental performance.

As such, in this dissertation, the many steps taken following the purpose of creating, verifying, editing and implementing the optimized routes are described in great detail. More so, the problems and hardships encountered and ways to overcome them, the developed methods for the optimization's analyses and it's necessary verifications, are referred, as potentially usefull subjects for other technicians and investigators in the area.

The obtained results for the daytime MSW routes are also presented both for before the optimization process and after. Although it's final field verification wasn't possible, during the established internship duration, the optimization of the daytime MSW routes has already allowed to predict a reduction of one collecting vehicle.

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CMA – Câmara Municipal de Almada

DCEA/FCT/UNL – Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

DS – Divisão de Salubridade

DSCMA – Divisão de Salubridade da Câmara Municipal de Almada

DTM – Divisão de Transportes e Manutenção

DTMCMA – Divisão de Transportes e Manutenção da Câmara Municipal de Almada

EEA - Agência Europeia do Ambiente

EMAS – Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria

ERRA - European Recovery and Recycling Association

Eurostat - Serviço de Estatísticas da Comunidade Europeia

IDG - Indicadores de Desempenho da Gestão

IDO - Indicadores de Desempenho Operacional

IEA - Indicadores de Estado do Ambiente

INE - Instituto Nacional de Estatística

LER - Lista Europeia de Resíduos

MST – Metro Sul do Tejo

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ONU - Organização das Nações Unidas

PORV - Problema de Optimização de Rotas de Veículos

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMAS – Serviços Municipalizados de Água e Saneamento

UE – União Europeia

ÍNDICE DE MATÉRIAS

I. Introdução	1
I.1. Introdução	1
I.2. Relevância	3
I.3. Âmbito e objectivos	6
I.4. Metodologia geral	7
I.5. Organização da dissertação	7
II. Revisão da Literatura	11
II.1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	11
II.1.1. Aspectos gerais	11
II.1.2. Sistema de recolha de RSU	12
II.1.3. Recolha selectiva e reciclagem de RSU	15
II.1.4. Análise e optimização de circuitos de recolha de RSU	19
II.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	21
II.2.1. Conceitos e definições	21
II.2.2. Papel dos SIG na análise de redes	22
II.2.3. O Problema de optimização de rotas de veículos aplicado à recolha de RSU	24
II.3. Sistemas de Gestão Ambiental e Certificação	30
II.3.1. Objectivos e âmbito	30
II.3.2. Indicadores de gestão ambiental	33
III. Caracterização do Caso de estudo	45
III.1. O Concelho de Almada	45
III.1.1. Características gerais do Concelho	45
III.1.2. Produção de RSU	47
III.1.3. Composição física dos resíduos	49
III.1.4. Caracterização do sistema de recolha de RSU	50
III.2. Descrição das características dos SIG da CMA	56
III.2.1. Considerações prévias	56
III.2.2. O Geomedia	57
III.2.3. O Fleetroute	58
IV. Metodologia	61
IV.1. Planeamento e cronograma do trabalho	61
IV.2. Procedimentos antecedentes à optimização e pressupostos e opções adoptados	64
IV.3. Proposta de indicadores de gestão ambiental para a avaliação do sistema de recolha de RSU	69

V. Análise e discussão dos resultados	77
V.1. Desenvolvimento e implementação da optimização dos circuitos.....	77
V.1.1. Nota prévia.....	77
V.1.2. Circuito 16	78
V.1.3. Circuitos diurnos	88
V.2. Indicadores de desempenho do EMAS obtidos para o sistema de recolha de RSU....	100
V.3. Análise dos indicadores de desempenho de um SGA e dos benefícios ambientais e económicos resultantes da optimização dos circuitos	107
VI. Conclusões.....	115
VI.1. Síntese conclusiva	115
VI.2. Recomendações e principais limitações.....	116
VI.3. Desenvolvimentos futuros	120
VII. Referências Bibliográficas.....	123
VIII. Anexos.....	127
VIII.1. Anexo 1 – Mapa das periodicidades de recolha dos contentores.....	129
VIII.2. Anexo 2 - Tipos de contentores utilizados na recolha de indiferenciados em Almada.....	130
VIII.3. Anexo 3 - Tipos de viaturas utilizadas na recolha de indiferenciados em Almada ..	131
VIII.4. Anexo 4 – Percurso optimizado a seguir numa parte do sub-circuito 107 (amarelo), correspondente ao Pinheirinho na freguesia da Charneca de Caparica, indicado por setas e números.....	132
VIII.5. Anexo 5 – Periodicidade de recolha dos contentores dos circuitos diurnos	133
VIII.6. Anexo 6 – Exemplo de um relatório criado pelo Fleetroute	135
VIII.7. Anexo 7 – Exemplo de um percurso criado pelo Fleetroute.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Adufa de uma viatura por placa	15
Figura II.2. Sistema de recolha trífuxo por ecopontos	17
Figura III.1. Localização do Concelho de Almada	45
Figura III.2. Divisão do Concelho de Almada em Freguesias	46
Figura III.3. Evolução da produção de RSU indiferenciados no Concelho de Almada, de 1983 a 2007	47
Figura III.4. Crescimento da população residente no Concelho de Almada	47
Figura III.5. Evolução da recolha selectiva no Concelho de Almada	48
Figura III.6. Evolução da recolha de RSU (indiferenciada mais selectiva)	48
Figura III.7. Composição física dos resíduos depositados no Aterro do Seixal, em 2003.....	50
Figura III.8. Percentagem de resíduos recicláveis encaminhados para o Aterro do Seixal.....	50
Figura III.9. Circuitos de recolha de RSU, situação pré-optimização	52
Figura III.10. Capacidade de contentorização do Concelho de Almada	54
Figura V.1. Antigo circuito 16	79
Figura V.2. Contentores do circuito 16 e clones do veículo de recolha.....	84
Figura V.3. Circuito 16 antes da edição de rotas	85
Figura V.4. Circuito 16 final (3 rotas)	86
Figura V.5. Percurso optimizado a seguir no sub-circuito 107 (amarelo), correspondente ao Pinheirinho na Freguesia da Charneca de Caparica, indicado por setas e números... 87	
Figura V.6. Circuitos diários optimizados	90
Figura V.7. Circuitos alternados optimizados	91
Figura V.8. Função Merge do ArcGis	93
Figura V.9. Método de optimização nº2 dos circuitos diurnos para um dia hipotético A (recolha de metade dos contentores alternados).....	94
Figura V.10. Método de optimização nº2 dos circuitos diurnos para um dia hipotético B (recolha da outra metade dos contentores alternados)	94
Figura V.11. Método de optimização nº 3 para circuitos diurnos para um dia hipotético A (recolha de metade dos contentores alternados).....	96
Figura V.12. Método de optimização nº 3 para circuitos diurno para um dia hipotético B (recolha da outra metade dos contentores alternados)	96
Figura V.13. Recolha por pontos e por arcos.....	99
Figura V.14. Evolução do consumo de combustíveis pela frota de recolha	108
Figura V.15. Evolução do número de pedidos de intervenção da população.....	108

Figura V.16. Índice de Qualidade do Ar para a Área Metropolitana de Lisboa Sul (a) em 2005	109
Figura V.17. Viaturas e Equipas necessárias ao cumprimento dos circuitos.....	109
Figura V.18. Número de fretes totais por dia para os conjuntos de circuitos	110
Figura V.19. Número médio de fretes por circuito por dia	110
Figura V.20. Quantidade de RSU média recolhida por dia nos circuitos diurnos	111
Figura V.21. Tempo médio diário de recolha.....	113
Figura V.22. Distância média percorrida por dia de recolha	113
Figura V.23. Razão entre o trabalho médio realizado e o horário laboral de uma equipa de recolha.....	113
Figura V.24. Consumo médio diário de combustível pela frota de recolha.....	114
Figura V.25. Velocidade média	114

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro II.1. Indicadores de Resíduos	37
Quadro II.2. Indicadores de Reciclagem.....	38
Quadro II.3. Indicadores de produtividade utilizados para a análise dos circuitos de recolha de resíduos do município de Lisboa	40
Quadro II.4. Indicadores Operacionais de circuitos de recolha de RSU indiferenciados	40
Quadro II.5. Indicadores Produtividade de circuitos de recolha de RSU indiferenciados	42
Quadro III.1. Área, população presente e densidade populacional no Concelho de Almada.....	46
Quadro III.2. Frota da Câmara Municipal de Almada disponível para a recolha de RSU.....	55
Quadro IV.1. Faseamento e cronograma do trabalho.....	64
Quadro IV.2. Proposta para Indicadores de Desempenho da Gestão.....	70
Quadro IV.3. Proposta para Indicadores de Estado do Ambiente	72
Quadro IV.4. Proposta para Indicadores de Desempenho Operacional	73
Quadro V.1. Tempos totais do circuito 16, pré e pós edição	87
Quadro V.2. Alguns Indicadores de Desempenho Operacional Pós Optimização para o Circuito 16	88
Quadro V.3. Alguns Indicadores de Desempenho Operacional Pós Optimização para os Circuitos Diurnos	100
Quadro V.4. Indicadores de Desempenho da Gestão	101
Quadro V.5. Indicadores de Estado do Ambiente	101
Quadro V.6. Indicadores de Desempenho Operacional	102

I.INTRODUÇÃO

I.1. Introdução

O Sistema de Ecogestão e Auditoria (EMAS) é uma iniciativa voluntária estabelecida pela União Europeia (UE), através do regulamento europeu 1836/93, destinada a melhorar o desempenho ambiental das indústrias (Meyers *et al.*, 2006). Mais tarde alargou-se a todas as outras organizações, através do Regulamento Nº 761/2001, do Parlamento Europeu e do Conselho (UE, 2001).

Requer às organizações aderentes a implementação de uma gestão dos seus aspectos ambientais e leva a cabo auditorias para a sua certificação. Um importante requisito do esquema é que as organizações participantes produzam regularmente uma declaração ambiental pública onde descrevam o seu comportamento ambiental (Meyers *et al.*, 2006).

De acordo com o Regulamento 761/2001, os elementos mínimos que devem constar dessa declaração ambiental são os seguintes:

- a) Uma descrição clara e inequívoca da organização que solicita o registo no EMAS e um resumo das suas actividades, produtos e serviços, bem como das suas relações com qualquer organização mãe, caso exista;
- b) Política ambiental da organização e uma descrição sumária do seu sistema de gestão ambiental;
- c) Uma descrição de todos os aspectos ambientais, directos e indirectos, que resultam em impactos ambientais significativos da organização e uma explicação da relação entre a natureza desses impactos e aqueles aspectos (Anexo VI do Regulamento);
- d) Uma descrição dos objectivos e metas ambientais e sua relação com os aspectos e impactos ambientais significativos;
- e) Um resumo dos dados disponíveis sobre o comportamento da organização relativamente aos seus objectivos e metas ambientais, no que se relaciona com os seus impactos ambientais significativos. Esse resumo poderá incluir os valores das emissões poluentes, da produção de resíduos, do consumo de matérias-primas, energia e água, do ruído e ainda outros aspectos indicados no Anexo VI do Regulamento. Os dados deverão permitir uma comparação anual que permita determinar a evolução do comportamento ambiental da organização;
- f) Outros factores relacionados com o comportamento ambiental, incluindo o comportamento em face das disposições legais no que se refere aos impactos ambientais significativos;

g) O nome e o número de acreditação do verificador ambiental e a data de validação.

Para a elaboração da declaração ambiental EMAS, as organizações podem utilizar os indicadores de desempenho ambiental que constam no anexo 1 da Recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do Regulamento Nº 761/2001 (UE, 2003).

O crescimento económico contínuo apresenta desafios à gestão sustentável de recursos estando, igualmente, ligado à geração contínua de resíduos (Meyers *et al.*, 2006). Os resíduos são, por este motivo, uma das componentes inerentes ao crescimento económico.

Ao longo do século XX, com o aparecimento e a produção de novos materiais, resultantes do desenvolvimento tecnológico e científico, e com uma sociedade com valores cada vez mais consumistas, tanto a complexidade como a quantidade e perigosidade dos resíduos aumentou. A taxa de crescimento da produção de resíduos tem sido proporcional ao crescimento da população, ao desenvolvimento das cidades, ao desenvolvimento do sector terciário e, conseqüentemente, ao aumento dos níveis de consumo (Levy e Cabeças, 2006).

Para além disso, actualmente faz-se, de um modo geral, um uso incorrecto dos recursos materiais. Queimam-se recursos fósseis em vez de serem reservados para produzir as muito necessárias matérias em plástico, incineram-se resíduos biodegradáveis em vez de se aproveitar o seu potencial para a produção de composto, e bens valiosos são depositados em aterros quando podiam ser reutilizados ou reciclados.

Como resposta a esta situação, surgiram novos conceitos como "Factor 10" e a sua definição ambiental de desmaterialização, desenvolvidos no Instituto Wuppertal para o Clima, Ambiente e Energia (Alemanha). Vários países têm já Institutos Factor 10 de forma a motivar o melhor uso dos recursos, e aos quais municípios e empresas podem recorrer para receber apoio na tarefa de melhorar os seus fluxos de material (EMAS4NewStates, 2007).

Particularmente no caso dos países desenvolvidos, as políticas governamentais acerca da gestão de resíduos têm-se centrado na prevenção, reutilização e reciclagem, o que levou a que o progresso na gestão de resíduos nessas áreas tenha sido significativo.

Os aspectos ambientais relacionados com a gestão de resíduos implicam claramente que as actividades relacionadas com o transporte dos materiais recusados façam parte das preocupações da Logística Verde. A Logística Verde tem como motivação produzir e distribuir bens de forma sustentável, tendo em conta impactes ambientais e sociais. As suas actividades incluem medir os impactes ambientais de diferentes métodos de distribuição, reduzir o consumo energético resultante da logística ou gerir e reduzir os resíduos produzidos (Sbihi e Eglese, 2007).

Ao nível local, as autoridades locais têm um papel chave na concretização dos objectivos estabelecidos pela Agenda 21, devido ao facto de muitos dos problemas ambientais, e respectivas soluções abordados pelo documento, terem as suas raízes ao nível local. As autarquias são responsáveis por construir, operar e suportar as infra-estruturas económicas, sociais e ambientais, acompanham os processos de planeamento, determinam as políticas e regulamentações ambientais locais e contribuem para a implementação de políticas ambientais nacionais, regionais ou locais. Além disso, devido à proximidade com a população, desempenham um papel fundamental na informação e influência do público em favor da protecção do ambiente e de um desenvolvimento sustentável (ONU, 2005)

Para além desta responsabilidade geral pelo ambiente, as autarquias estão a ser pressionadas por leis nacionais e europeias no sentido de tomarem medidas a favor do ambiente. Fazem-se apelos para a reabilitação de áreas contaminadas e para a criação de novas infra-estruturas, enquanto orçamentos limitados forçam a gestão de custos no uso de energia, distribuição de água potável e gestão de águas residuais e de resíduos. Cada vez mais, companhias e organizações, antes de se instalarem, exigem condições ambientais e, no caso das zonas turísticas, as autarquias necessitam de garantir que os visitantes encontraram locais acolhedores e agradáveis, sem poluição e com uma variada diversidade de paisagens e espécies (EMAS4NewStates, 2007).

No entanto, a protecção do ambiente não representa unicamente um encargo para os municípios, existindo compensações reais que se traduzem frequentemente em poupanças resultantes da redução dos impactes ambientais e do consumo de recursos. Vários estudos têm revelado que através do cumprimento de objectivos ambientais e de uma melhor utilização dos recursos, facilmente se obtêm reduções de mais de 20% nos custos suportados pela organização. Ao dar a mesma importância aos objectivos sociais e ambientais que dá aos objectivos económicos, a autarquia não só cresce na direcção do desenvolvimento sustentável como fornece aos trabalhadores uma motivação extra visto estes reconhecerem como muito positivo trabalhar numa organização que se preocupa com a sociedade a que pertence e preserva o ambiente em que se insere (EMAS4NewStates, 2007).

I.2. Relevância

Várias foram as razões que, segundo Martinho (1998), levaram a que nas últimas duas décadas as políticas, mentalidades e tecnologias adoptadas na gestão dos resíduos sofressem alterações rápidas e profundas, em relação às que se verificavam até recentemente. Pode-se responsabilizar por essas mudanças o grande aumento na produção

de resíduos, a presença de materiais mais tóxicos e de difícil biodegradação, a escassez de locais apropriados para a sua deposição, as graves disfunções ambientais provocadas não só pela deposição não controlada como também pelos próprios tecnossistemas de tratamento, os custos crescentes dos sistemas de recolha e tratamento, a resistência das populações à localização de novas infra-estruturas, a pressão dos grupos ecologistas e a maior consciencialização das populações em relação aos problemas ambientais provocados por resíduos, associada à necessidade de preservação dos recursos naturais.

Em Portugal, o aumento da produção de resíduos e a falta de infra-estruturas adequadas para o seu tratamento, levou a que o problema comesse a ser encarado com maior responsabilidade. A remoção dos resíduos tornou-se tarefa prioritária e o seu destino final adquiriu grande importância. A descarga em lixeiras foi substituída por outros métodos mais adequados, nomeadamente o tratamento e valorização de algumas componentes. Deixou-se de falar em lixo para se passar a falar em resíduos, o que mais que uma troca de terminologia, representa uma mudança na perspectiva a ter dos resíduos, passando-se de algo que, por já não ter valor, se procura eliminar, para algo que, terminada a sua utilidade como produto, se torna agora num novo recurso a ser reencaminhado para nova valorização e integração numa cadeia económica (Levy e Cabeças, 2006).

A nível nacional, o sector da gestão dos resíduos representou, em 2005, 2/5 da despesa consolidada das Administrações Públicas em actividades de protecção ambiental, valor que corresponde a 387 milhões de euros e que faz da gestão de resíduos o domínio mais significativo da despesa (INE, 2007). Ao nível local, o peso da despesa com a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é também significativo. Por exemplo, no município de Almada, nos últimos anos esta área tem representado cerca de 80% de toda a despesa do município em ambiente (INE, 2008).

Dentro do sistema de gestão de RSU, a componente de recolha e transporte de RSU é uma das mais dispendiosas, podendo representar entre 40 a 70% dos custos totais do sistema de gestão de RSU (Martinho e Gonçalves, 2000). Isto deve-se ao facto de ser uma das componentes do sistema que mais requer mão-de-obra e viaturas, com grandes consumos de combustível. No entanto, a optimização dos circuitos de recolha pode representar um potencial de poupança significativo para as entidades gestoras.

Vários têm sido os estudos realizados em torno da problemática da optimização de circuitos de recolha de resíduos. Alguns aplicam metodologias e algoritmos de optimização de rotas a casos práticos e apresentam resultados muito positivos. Outros comparam diferentes algoritmos, de forma a escolher aquele que define as melhores rotas optimizadas para recolha.

Destaca-se, a título exemplificativo, o caso apresentado por El-Hamouz (2008) sobre a forma como uma empresa aplicou uma estratégia de gestão logística à recolha de RSU no distrito de Tubas, na Palestina, onde a recolha era cara e ineficiente. Apesar de não utilizar um algoritmo computadorizado, a estratégia da empresa, que apostou na alteração dos horários de recolha, na deslocação e reforço da contentorização e minimização das rotas de recolha, teve resultados que se reflectiram na melhoria da qualidade do serviço e na redução em 20% da tarifa de recolha dos RSU.

Num outro estudo, realizado por Karadimas *et al.* (2007), os autores comparam a aplicação do algoritmo Sistema de Colonização de Formigas (*Ant Colonization System*) à recolha de RSU, com o método empírico utilizado pelo município de Atenas, obtendo resultados muito positivos. Com base numa pequena amostra, conseguiram prever uma poupança semanal de 252 a 385 horas para a recolha no município de Atenas, o que corresponde a uma poupança aproximada de 7.560€ a 11.550€, isto tendo em consideração apenas a poupança ao nível dos recursos humanos.

Quanto maior e mais complexa for a área de intervenção do operador de recolha de resíduos, mais evidentes se tornam as poupanças conseguidas quando se aplicam metodologias ou programas de optimização. Sahoo *et al.* (2005), por exemplo, descrevem o programa de optimização de rotas WasteRoute, que desenvolveram para a empresa norte americana Waste Management, apresentando resultados impressionantes da sua implementação. No ano em que foi implementado, o WasteRoute permitiu à empresa reduzir o número de circuitos em 984, poupando 18 milhões de dólares. As poupanças para o ano 2004 prevêem-se na ordem dos 44 milhões de dólares à medida que o programa é aplicado em cada vez mais áreas do país.

O município de Almada, o caso de estudo da presente dissertação, tem actualmente como objectivo para a sua política ambiental a selecção de indicadores para um conjunto de descritores ambientais e a definição de metas de referência para cada um deles. Esses objectivos fazem parte de um projecto mais abrangente, denominado de EMAS LAB, que está a ser desenvolvido no âmbito da Agenda Local 21 e que passa pela adopção de procedimentos menos prejudiciais para o ambiente e pela certificação ambiental do município através do sistema Europeu de Gestão e Auditoria Ambiental (EMAS LAB, 2008).

Neste contexto, o projecto de optimização de circuitos de recolha de RSU da Câmara Municipal de Almada (CMA) apresentou-se como uma excelente oportunidade para o desenvolvimento de uma pesquisa científica aplicada a um caso real, no âmbito do estudo dos processos de optimização de circuitos de recolha de RSU, nomeadamente o levantamento e identificação pormenorizada das várias componentes de um circuito de

recolha, a análise, a decisão e a execução subjacentes à implementação do projecto, bem como à avaliação dos seus resultados ao nível do Concelho.

O desenvolvimento e implementação de um sistema de optimização de circuitos de resíduos é uma tarefa complexa, derivada, tal como referido por Li *et al.* (2008), da incerteza, do elevado número de factores em jogo, da necessidade de conjugar e optar por benefícios sociais, ambientais ou económicos, e da elevada dinâmica do sistema.

I.3. Âmbito e objectivos

Com o objectivo de optimizar os circuitos de recolha dos RSU produzidos no Concelho, a Divisão de Salubridade da Câmara Municipal de Almada (DSCMA) adquiriu um SIG, o Fleetroute, criado especialmente para a função de optimização de rotas e que permitia a importação da informação existente no SIG utilizado pelo município, o Geomedia.

No início de 2008, por motivos de baixa de uma das técnicas responsáveis pelo desenvolvimento e implementação deste programa de optimização, a DSCMA viu comprometido o seu plano de trabalhos por falta de recursos humanos. Sendo já habitual a cooperação entre a DSCMA e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL), nomeadamente no apoio à realização de estágios profissionais na área da gestão dos resíduos de finalistas do curso de Engenharia do Ambiente, a Eng^a Maria do Carmo Antão, chefe da Divisão de Salubridade, solicitou ao DCEA/FCT/UNL um estagiário para ajudar no projecto de optimização dos circuitos de recolha dos resíduos urbanos, indiferenciados e selectivos.

É neste contexto que surge a presente dissertação. Sendo uma dissertação um trabalho de investigação científica, procurou-se dentro deste âmbito desenvolver e explorar um conjunto de objectivos de interesse científico e prático.

Deste modo, e após umas leituras exploratórias sobre esta temática e um conhecimento mais aprofundado sobre as características dos circuitos de recolha de resíduos do município de Almada, definiram-se como principais objectivos para esta dissertação, os seguintes:

- Acompanhar um processo de optimização de circuitos de recolha de RSU no Concelho de Almada, registando os pontos fortes e fracos da sua implementação;
- Desenvolver e aplicar indicadores relacionados com o sistema de gestão de resíduos analisado, organizando-os de acordo com a recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do Regulamento (CE) Nº 761/2001, que permite a participação voluntária das organizações num sistema

comunitário de ecogestão e auditoria (EMAS) no que se refere à selecção e utilização de indicadores de desempenho ambiental;

- Avaliar os benefícios ambientais e económicos da aplicação de um sistema de optimização de circuitos ao nível do Concelho de Almada.

Para além dos objectivos enunciados, as dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento e acompanhamento do projecto de optimização, bem como os procedimentos de natureza prática, que se apresentam e discutem nesta dissertação, representam uma mais valia para outras entidades gestoras ou técnicos que vierem a implementar programas de optimização de circuitos de recolha de resíduos.

I.4. Metodologia geral

De modo a cumprir os objectivos definidos para este trabalho de investigação, a metodologia de trabalho seguida foi, em termos gerais, organizada nas seguintes fases principais:

- 1.** Revisão bibliográfica sobre sistemas e programas de optimização de circuitos de recolha de resíduos e levantamento da situação actual do sistema de recolha de resíduos da CMA;
- 2.** Acompanhamento e participação no projecto de optimização dos circuitos de recolha de resíduos, o qual recorre a dois sistemas de informação geográfica (SIG), o Geomedia e o Fleetroute. Esta fase desenvolveu-se em várias etapas, designadamente:
 - Um período de integração na equipa e familiarização com os softwares;
 - O planeamento do projecto e selecção das zonas a analisar numa primeira fase;
 - A verificação no terreno de alguns pressupostos, circuitos e sua correcção nos SIG;
 - O levantamento de dados no terreno;
 - A inserção dos dados recolhidos no Geomedia e exportação para o Fleetroute;
 - A criação automatizada das rotas recorrendo ao Fleetroute;
 - A edição manual das rotas e percursos sugeridos pelo Fleetroute;
- 3.** Agregação dos resultados obtidos da optimização dos circuitos.
- 4.** Construção de indicadores ambientais e de produtividade do sistema de recolha do Concelho, antes e após optimização;
- 5.** Enquadramento dos resultados obtidos nos requisitos de uma certificação ambiental EMAS do sistema de recolha, como actividade da CMA;
- 6.** Redacção da dissertação.

I.5. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em oito capítulos principais. No primeiro capítulo apresenta-se um breve enquadramento sobre o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS) e sobre a relevância da optimização dos circuitos de recolha de resíduos no contexto dos processos de certificação ambiental das actividades desenvolvidas pelos municípios. É ainda neste capítulo introdutório que se apresentam os objectivos, a metodologia geral e a organização da dissertação.

O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica relativa às temáticas abordadas, nomeadamente os aspectos teóricos e práticos das questões relativas à gestão dos resíduos, aos sistemas de gestão e certificação ambiental, aos sistemas de informação geográfica e sua aplicação à optimização de circuitos de recolha de resíduos.

No terceiro capítulo apresenta-se o caso de estudo – o município de Almada. Descrevem-se as principais características do Concelho e o actual sistema de recolha de resíduos urbanos gerido pela CMA. Ainda neste capítulo faz-se uma descrição das características e potencialidades dos SIG adquiridos e utilizados pela CMA.

No quarto capítulo descreve-se a metodologia utilizada para alcançar os objectivos definidos. O capítulo inicia-se com o planeamento e cronograma dos trabalhos desenvolvidos, seguindo-se uma descrição dos procedimentos realizados no processo de optimização de circuitos e dos pressupostos e opções que se tiveram que adoptar. Segue-se a apresentação dos indicadores ambientais que se desenvolveram para a operação de recolha de RSU realizada pela CMA, os quais permitem uma avaliação do desempenho ambiental desta componente da gestão dos resíduos, antes e após a implementação do sistema de optimização. Por último são apresentados pressupostos para a recolha selectiva que vão permitir obter e comparar diferentes resultados de eficiência na recolha.

O quinto capítulo corresponde à análise e discussão de resultados. Este capítulo está estruturado em três subcapítulos. O primeiro refere-se à descrição dos trabalhos desenvolvidos na aplicação dos SIG aos circuitos de recolha da CMA, os passos seguidos e as principais dificuldades e limitações dos programas utilizados face às necessidades de optimização. No segundo subcapítulo apresentam-se os valores obtidos para os indicadores ambientais propostos para o sistema de recolha de RSU, nomeadamente os indicadores de desempenho da gestão, de estado do ambiente e de desempenho operacional. No último subcapítulo faz-se uma análise aos benefícios ambientais e económicos resultantes, ou que se espera conseguir, com a optimização dos circuitos ao nível do Concelho de Almada.

No sexto capítulo apresenta-se uma síntese conclusiva, as principais limitações do processo de optimização e do trabalho desenvolvido e, por fim, sugestões e recomendações para futuras linhas de pesquisa.

O sétimo e o oitavo capítulo, dizem respeito à bibliografia consultada, a qual serviu de suporte teórico e metodológico ao presente trabalho, e aos anexos.

II. REVISÃO DA LITERATURA

II.1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

II.1.1. Aspectos gerais

A definição de resíduos não é uma tarefa simples. De acordo com a legislação em vigor, designadamente na Lei-Quadro dos Resíduos (*i.e.* o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro), os resíduos urbanos são "(...) os resíduos provenientes de habitações bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante aos resíduos provenientes de habitações (...)", desde que, "(...) a produção diária não seja superior a 1100 litros por produtor" (Diário da República, 2006).

Os resíduos alvo desta dissertação são os urbanos, recolhidos pela Câmara Municipal de Almada, os quais englobam os resíduos de origem doméstica e os resíduos produzidos diariamente por estabelecimentos inseridos na malha urbana mas que, por não excederem os valores indicados na legislação (*i.e.* 1100 litros), a responsabilidade pela sua recolha é da autarquia.

A Lista Europeia de Resíduos (LER), que se encontra publicada na Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, inclui um total de 20 capítulos correspondentes a diferentes grupos de resíduos, de acordo com a fonte geradora dos mesmos, sendo que cada resíduo é totalmente definido com um código de seis dígitos. Os RSU fazem parte do capítulo 20 "Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços". Já os resíduos de embalagem recolhidos selectivamente integram-se no capítulo 15 "Resíduos de embalagens, absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificados" (Diário da República, 2004).

Segundo a União Europeia (UE), resíduo corresponde a qualquer substância ou objecto pertencente a uma das categorias indicadas no Anexo I da Directiva Quadro dos resíduos (2006/12/CE), do qual o possuidor se desfaz, pretende desfazer-se ou é requerido a desfazer-se (Meyers *et al.* 2006).

No entanto, a actual definição de resíduo não estabelece claramente a partir de que momento um resíduo sujeito a determinado tratamento deixa de ser considerado resíduo e passa a ser considerado produto. Esta lacuna na legislação origina dificuldades que podem resultar em insegurança jurídica e custos administrativos para as empresas e as autoridades competentes, além de poder levar a diferentes interpretações consoante o Estado-Membro ou a Região e originar a que circulem no mercado materiais reciclados de baixa qualidade descredenciando os vendedores e a própria reciclagem (UE, 2005).

A Comissão Europeia, depois de consultar as partes interessadas, concordou que, apesar de uma alteração da definição de resíduo não ser necessária, justificava-se no entanto um esclarecimento referente ao momento em que um resíduo deixa de o ser e se torna uma matéria-prima nova ou secundária. Como resultado, surge uma proposta de alteração à directiva que prevê o estabelecimento de critérios ambientais baseados nos fluxos de resíduos de forma a determinar quando os resíduos deixam de ser considerados resíduos. Esta alteração, incentiva as empresas a produzir produtos reciclados conforme os critérios ambientais melhorando o desempenho ambiental destes. Para além disso, reduzem-se os encargos desnecessários para as actividades de reciclagem de baixo risco (UE, 2005).

Por sistema de gestão de resíduos entende-se "(...) as operações de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, incluindo a monitorização dos locais de descarga após o encerramento das respectivas instalações, bem como o planeamento dessas operações" (Diário da República, 2006).

II.1.2. Sistema de recolha de RSU

A recolha é, pois, uma das componentes de um sistema de gestão de resíduos. Para Pferdehirt *et al.* (1993, *cit.* Rhyner *et al.*, 1995), uma estratégia de recolha integrada de resíduos deve incorporar os seguintes objectivos:

- O sistema deve fornecer níveis adequados de serviço, estabelecidos para ir de encontro às necessidades políticas, regulamentares, de saneamento e de ambiente;
- O sistema deve tentar atingir os mais baixos custos possíveis;
- O sistema deve desenvolver localmente parcerias entre os sectores público e privado;
- O sistema deve ser flexível para permitir eventuais necessidades de mudança;
- O sistema deve ter políticas de redução dos resíduos produzidos.

A componente recolha e transporte de RSU assume uma especial importância devido, essencialmente, aos seguintes factores (Martinho e Gonçalves, 1999):

- É a componente mais dispendiosa do sistema de gestão de RSU, podendo representar entre 40 a 70% dos custos totais do sistema de gestão de RSU;
- É a imagem do serviço de gestão de resíduos, pois é a componente de interface entre o sistema e os utentes;
- O seu bom funcionamento encontra-se dependente do comportamento dos utentes.

Os elevados custos que estão associados à fase de recolha são uma das grandes e actuais preocupações das entidades que têm a seu cargo a recolha dos RSU. Por exemplo, Karadimas *et al.* (2007) referem que no município de Atenas esta componente representa

entre 60 a 80% dos custos totais direccionado para a gestão de resíduos, concluindo que qualquer melhoria conseguida na eficiência dessa componente do sistema de gestão de RSU, representaria ganhos significativos para a autarquia.

O sistema de recolha de RSU decompõe-se em três operações. A deposição, que consiste no conjunto de operações que envolvem a armazenagem domiciliária de RSU e a sua colocação em recipientes para serem removidos; a operação de remoção, efectuada por pessoal e equipamento adequado para esse fim, mediante a transferência dos RSU para as viaturas de recolha; e o transporte, que corresponde à distância que a viatura de recolha efectua entre o último ponto de recolha dos resíduos e o local do seu destino (Martinho e Gonçalves, 2000).

A recolha de RSU pode ser classificada de acordo com diferentes critérios, nomeadamente o tipo de resíduos recolhidos, o local de recolha e a frequência e horário da recolha.

Relativamente ao tipo de resíduos distinguem-se entre recolha indiferenciada, os resíduos são depositados e recolhidos como uma mistura de resíduos, e a recolha selectiva. Neste último caso, há separação na fonte de uma ou mais categorias de resíduos, seguida ou não de nova separação em estações de triagem (Martinho e Gonçalves, 2000).

Quanto ao local de recolha, distinguem-se entre recolha porta-a-porta, ou individual, e recolha em determinados pontos da via pública, ou colectiva. Num determinado Concelho, podem existir zonas servidas só por um destes sistemas ou por ambos.

A recolha porta-a-porta representa elevados custos de instalação e de operação, pois não só é necessário abastecer cada edifício com um ou mais contentores, como também a recolha dos RSU implica um maior desgaste de equipamento e um esforço suplementar das equipas de cantoneiros (Levy e Cabeças 2006).

Neste sistema, e ainda de acordo com os mesmos autores, cada edifício recebe um ou mais contentores com capacidade até aos 360 litros, ficando os habitantes responsáveis pela sua manutenção e colocação à entrada do edifício nas horas e dias estabelecidos para a sua recolha. Cada edifício, na área abrangida pela recolha, representa uma potencial paragem da viatura para a recolha de RSU. Como alternativa, no caso da existência de sistemas colectivos, os contentores individuais podem ser distribuídos apenas para facilitar o transporte dos resíduos do edifício até ao ponto de recolha colectivo.

Em vez de se utilizar contentores no sistema de recolha porta-a-porta, é possível distribuir pelos edifícios sacos de tara perdida. Essa opção reduz os custos de instalação do sistema. No entanto, os custos de remoção continuam elevados, e para além disso os sacos aumentam a quantidade de RSU, dificultam o seu tratamento e são mais sensíveis a que

animais possam rasgar os sacos e espalhar os resíduos pela via pública (Levy e Cabeças 2006).

Na recolha por pontos, a autarquia aloca a um local estratégico, um ou mais contentores de utilização colectiva, a população fica encarregue de transportar os seus resíduos até esses locais. Este sistema utiliza contentores de média e grande capacidades e tem menores custos de remoção que o sistema de recolha porta-a-porta, pois o número de pontos de recolha é menor, para uma mesma população, o que representa menos paragens e menos tempo no circuito (Levy e Cabeças 2006).

Se a recolha for mista, utilizam-se simultaneamente ambos os sistemas acima descritos, sendo que o sistema porta-a-porta reserva-se para as zonas menos densas e o sistema colectivo para as zonas mais densas, em termos urbanísticos e populacionais.

De acordo com Levy e Cabeças (2006), os contentores de 90 litros são mais frequentemente utilizados para servir habitações unifamiliares enquanto que os de 120 a 360 litros são mais utilizados em edifícios multifamiliares, variando a escolha da capacidade do contentor com a densidade da zona servida ou simplesmente com as dimensões do espaço de armazenamento do contentor.

Para a recolha por pontos, existem ainda, disponíveis no mercado, contentores de média capacidade, com volumes até aos 1.100 litros, e contentores de profundidade e molok, com capacidade para 1.1, 3 ou 5 m³. Apesar da sua grande capacidade, o aspecto exterior do contentor é de design agradável à vista estando, para além disso, uma parte do contentor oculta sob o solo.

Dentro das principais vantagens dos contentores de profundidade, destacam-se as seguintes: ocupam menos espaço na via pública, não sofrem choques porque estão fixos no solo, são feitos com material mais resistente e podem representar custos de investimento e exploração mais baixos (Martinho e Gonçalves, 2000). A grande desvantagem de muitos destes contentores é a sua recolha implicar um veículo específico, de caixa aberta e dotado de grua, que não é apropriado para recolher outros tipos de contentores (Levy e Cabeças 2006). No entanto, como têm grande capacidade induzem a menores custos em combustível, manutenção e pessoal.

Relativamente à frequência e horário da recolha, distingue-se entre recolha diária, três vezes por semana, semanal, ou outra frequência, e entre recolha diurna e nocturna. São vários os factores a considerar quanto à escolha de uma destas alternativas, nomeadamente o volume a recolher, as características do aglomerado urbano (densidade urbanística), as características do tráfego, os custos, entre outros (Martinho e Gonçalves, 2000). Por razões óbvias, nos centros urbanos mais densos e com mais tráfego diurno, a recolha tem que se fazer à noite, o que representa custos acrescidos ao sistema de recolha.

Também os veículos de recolha de RSU se podem classificar em função de diferentes critérios, nomeadamente quanto ao método de descarga, ao tipo de sistema de elevação dos contentores e respectiva localização e ao sistema de transferência dos resíduos da tremonha de recepção para o interior da caixa.

As viaturas mais utilizadas na recolha de RSU, para além das já referidas viaturas de caixa aberta utilizadas para a recolha dos contentores em profundidade, são as chamadas viaturas por placa.

Estas viaturas dispõem de adufas para a descarga dos contentores, constituídas por um sistema de elevação hidráulica e por uma boca de descarga provida de um orifício (opérculo) que se mantém fechado quando não está a ser utilizado (Figura II.1) (Pereira, 2005). Para esta autora, “este tipo de recolha proporciona uma maior higiene e limpeza urbana, diminuição dos riscos para a saúde pública e melhora os aspectos relacionados com a segurança e higiene dos cantoneiros, já que, teoricamente, os trabalhadores não têm contacto com os resíduos, não estão tão sujeitos aos cheiros e poeiras, e o esforço físico requerido é menor”.



Figura II.1. Adufa de uma viatura por placa

II.1.3. Recolha selectiva e reciclagem de RSU

De acordo com os dados oficiais publicados na página da Internet da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Portugal conseguiu cumprir, em 2005, as metas impostas pela Directiva de Embalagens (*i.e.* Directiva 94/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro) para a reciclagem das embalagens, ou seja, um mínimo 25%, em peso, dos seus resíduos totais de embalagens, com pelo menos 15% para cada material de embalagem (*i.e.* papel/cartão, plásticos, vidro e metais). De acordo com a mesma fonte, a

reciclagem total de embalagens foi de 44%, com 60% para as embalagens de papel/cartão, 41% para as de vidro e 16% para as de plástico (APA, 2008).

Os novos prazos e objectivos a atingir, estipulados na nova Directiva de Embalagens (*i.e.* Directiva n.º 2004/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro), apontam para o ano 2008, a reciclagem global de 55% do peso das embalagens colocadas no mercado, com objectivos parciais mínimos de 60% para o vidro, 60% para o papel/cartão, 50% para os metais, 22,5% para os plásticos e 10% para a madeira. Portugal, ao abrigo de um regime de excepção que lhe foi concedido juntamente com a Grécia e a Irlanda, deverá cumprir estas metas até, no máximo, ao final de 2011 (EU, 2004).

A reciclagem, para além de contribuir para o desvio dos resíduos dos aterros e das incineradoras e a valorização em novos produtos, pode originar uma redução no tempo dos circuitos de recolha de RSU indiferenciados. A deposição de parte dos RSU nos sistemas de recolha selectiva reduz a quantidade de RSU indiferenciados a recolher, o que pode evitar a necessidade de realização de segundos fretes, para os locais de deposição ou tratamento, pelas viaturas afectas aos circuitos de recolha de RSU indiferenciados (Vicente, 2007).

A reciclagem de resíduos apresenta inúmeras vantagens, das quais se destacam a conservação dos recursos naturais e energéticos, a diminuição dos resíduos resultantes da extracção de matérias-primas e da produção de energia, a redução da poluição atmosférica e da água, o desvio dos RSU dos aterros prolongando o seu tempo de vida e de outras instalações de tratamento mais poluentes, a criação de novos negócios e mercados para os produtos reciclados e a satisfação pessoal de muitos cidadãos que ao participarem nas actividades de reciclagem sentem que estão a dar a sua contribuição para a causa ambiental (Martinho, 1998).

À semelhança dos sistemas de recolha indiferenciada, os sistemas de recolha selectiva mais generalizados na Europa, são os seguintes (González-Torre e Adenso-Díaz, 2005):

1- A recolha porta-a-porta, em que cada família possui pequenos contentores, ou sacos, para depositar os vários recicláveis abrangidos pelo sistema e os coloca à sua porta na altura da recolha. A grande vantagem deste sistema é ser muito pouco exigente para a população, que não tem de se deslocar para deixar os recicláveis num ponto de recolha, e tende a ter melhores resultados de participação. Este é, no entanto, o sistema mais caro de implementar e que necessita de maiores recursos devido ao grande número de pontos de paragem a percorrer pelas equipas de recolha.

2- A recolha por pontos, ou ecopontos, em que a população tem de se deslocar até um determinado ponto da via pública onde estão localizados os contentores destinados à deposição dos recicláveis, normalmente de fácil acesso ao veículo de recolha. Este sistema

tem a vantagem de necessitar de menos recursos na recolha dos resíduos que o porta-a-porta, no entanto não é tão cómodo para a população.

3- O Ecocentro, que funciona normalmente como complemento a um dos dois outros sistemas de recolha, é um local onde se recebem os resíduos com potencial para serem reciclados mas que no entanto não são abrangidos pelos restantes sistemas de recolha. Existe um ecocentro para uma zona geográfica alargada pelo que a distância a percorrer pela população é a maior.

Em Portugal, o sistema mais generalizado é o sistema de recolha selectiva trifluxo por ecopontos (Figura II.2), ou seja, deposição em contentores separados de papel/cartão (embalagens e não embalagens, a depositar no papelão), vidro de embalagem (a depositar no vidrão), e embalagens de plástico, metais e de cartão para líquidos alimentares (a depositar no embalão).



Figura II.2. Sistema de recolha trifluxo por ecopontos

Os contentores dos ecopontos, utilizados para a deposição dos recicláveis, podem ser semelhantes aos contentores utilizados na recolha de RSU indiferenciados, com ligeiras modificações ao nível da cor ou da abertura da tampa e, nestes casos, as viaturas de recolha são semelhantes às da recolha indiferenciada, ou podem ser contentores com características diferentes, como os contentores iglo, prismáticos, cyclea ou molok, que requerem viaturas de caixa aberta equipadas com grua.

Após a recolha, os resíduos são conduzidos para as Estações de Triagem para aí serem submetidos a operações de triagem manual e mecânica, com vista à remoção de contaminantes e à sua preparação em fardos destinados à indústria de reciclagem.

Uma das grandes limitações dos sistemas de recolha selectiva é o facto de se encontrarem muito dependentes das atitudes e comportamentos dos cidadãos, ou seja, da sua taxa de participação. A incerteza relativamente à taxa de participação é mais um factor que acrescenta complexidade ao planeamento e organização de circuitos de recolha selectiva.

No caso dos sistemas porta-a-porta, a taxa de participação mede-se por registo do número de habitações que colocam à sua porta os recipientes para serem removidos, pelo menos uma vez por mês, é pois uma medição directa dos comportamentos (Martinho e Gonçalves, 2000). No caso dos sistemas colectivos, por ecopontos, a determinação da taxa de participação por este método já não é possível, recorrendo-se para o efeito a um levantamento indirecto dos comportamentos, por questionário, solicitando-se às pessoas que relatem a frequência com que se deslocam ao ecoponto.

No entanto, a utilização de questionários para avaliar os comportamentos de reciclagem coloca a questão de saber até que ponto o comportamento relatado pelos entrevistados corresponde ao comportamento real, e qual a correspondência entre a intenção comportamental e a acção face à reciclagem. Isto acontece porque a generalidade das pessoas reconhece a reciclagem como algo socialmente positivo e deseja dar a “resposta correcta” ao entrevistador (Shaw, 2007).

Por este motivo, observações directas do comportamento dos habitantes, quando possíveis, permitem obter dados mais fidedignos acerca da realidade (Shaw, 2007).

A psicologia da reciclagem é uma área que tem merecido a atenção de vários cientistas sociais e sobre a qual se tem pesquisado e publicado vários estudos.

Estas pesquisas têm-se desenvolvido em torno de duas linhas de investigação. Por um lado, as que procuram identificar e medir as variáveis que determinam e se relacionam com os comportamentos de reciclagem, procurando descobrir, por exemplo, quais as características pessoais que distinguem recicladores de não recicladores, ou qual a influência de determinados contextos nos comportamentos desses indivíduos (Martinho, 1998).

Uma segunda linha de pesquisa tem procurado avaliar o efeito que vários tipos de intervenções têm sobre os comportamentos, baseadas nos princípios teóricos da mudança de atitudes e nas relações entre atitudes e comportamentos (Martinho, 1998). É o caso, por exemplo, do estudo conduzido por Timlett e Williams (2007), em que os autores exploram formas de passar da intenção de reciclar ao comportamento em si.

II.1.4. Análise e optimização de circuitos de recolha de RSU

A recolha de RSU, quer indiferenciados quer selectivos, encontra-se organizada em circuitos de recolha. Cada circuito corresponde a um percurso que a viatura tem que realizar, num determinado dia de recolha, e foi objecto de um planeamento prévio onde factores como o tipo de resíduos a recolher, as características urbanísticas e topográficas do terreno a percorrer, as características e capacidade das viaturas e a dimensão e horário da equipa de recolha, foram consideradas tendo em vista a programação de circuitos equilibrados.

Considera-se que os circuitos são equilibrados quando as equipas de recolha ocupam aproximadamente o mesmo tempo a realizar o trabalho produtivo, isto é, sem tempos significativos de horas extraordinárias ou horas a menos que as de um dia normal de trabalho (Moreira, 2008).

A este processo, de determinar circuitos de recolha bem equilibrados, Tchobanoglous *et al.* (1993) denominam análise macro-circuito. De acordo com os mesmos autores, num circuito de recolha de resíduos com contentores fixos, como é o caso da recolha indiferenciada e selectiva de RSU, a sequência das operações de recolha pode-se dividir nas seguintes cinco operações unitárias:

- Tempo ou distância de e para a garagem – trata-se do tempo ou da distância que a viatura percorre da garagem até ao primeiro ponto de recolha, mais a que percorre do local de deposição (do último frete) até à garagem, quando finaliza a recolha;
- Tempo ou distância efectiva de recolha – trata-se do tempo ou distância que o veículo demora a encher a sua caixa (*i.e.* a esvaziar os contentores e a deslocar-se para os seguintes), desde o primeiro ponto de recolha até ao último do circuito;
- Tempo ou distância de transporte – trata-se do tempo ou da distância percorrida pela viatura desde o último ponto de recolha, quando o veículo atinge a sua capacidade máxima, até ao local de esvaziamento da sua carga; consoante as características do circuito e a capacidade da viatura pode ser necessário o regresso ao circuito para continuar a recolha de resíduos, ou seja, um circuito pode realizar-se num único frete ou em mais do que um frete;
- Tempo e distância no local de deposição – trata-se do tempo ou distância necessária ao esvaziamento da carga do veículo, o que o veículo demora no local de deposição da sua carga (*i.e.* estação de transferência, estação de triagem, compostagem, incineradora ou aterro sanitário);
- Tempo e distância fora do circuito (ou não produtivo) – nesta categoria incluem-se os tempos ou distâncias não produtivos mas necessários, por exemplo, tempos

perdidos no trânsito ou no almoço, e os tempos não produtivos e desnecessários como, por exemplo, tempos abusivos no almoço ou cafés.

Para além de circuitos equilibrados, o sistema de recolha de resíduos deve incluir circuitos que minimizem as distâncias e os tempos de percurso das viaturas, ou seja, que sejam otimizados. Circuitos otimizados significam uma redução dos custos e dos impactes ambientais, pois resultam em menores consumos de combustível e num decréscimo das emissões para a atmosfera (Martinho e Gonçalves, 2000).

O impacte ambiental, social e económico, resultante das actividades associadas à gestão dos RSU, nomeadamente a recolha e transporte de RSU, tem recebido crescente atenção. Essa atenção tem-se manifestado em esforços para, seguindo uma abordagem mais teórica, por um lado, desenvolver planos e modelos de gestão de RSU recorrendo a análises ambientais e socio-económicas e, por outro lado, criar metodologias ou algoritmos para a automatização da gestão de RSU (Karadimas *et al.*, 2007).

No primeiro caso, os investigadores têm procurado responder principalmente às questões que se colocam quando as entidades municipais e a população discordam das decisões quanto à gestão de resíduos, nomeadamente quanto à localização dos aterros sanitários, aos impactes da recolha e transporte de RSU na saúde e nas actividades do dia-a-dia da população, provocados pelo ruído, cheiros ou o aumento de trânsito (Karadimas *et al.*, 2007).

Já no segundo caso, os investigadores preocupam-se com a optimização das rotas de recolha de resíduos, baseando-se nas teorias da investigação operacional como, por exemplo, o Problema do Caixeiro-Viajante. De acordo com este problema, o caixeiro-viajante deve visitar, apenas uma vez, todos os pontos de que lhe são atribuídos, escolhendo, para isso, o percurso mais curto entre eles (Karadimas *et al.*, 2007). Os restantes problemas de optimização de rotas tendem a ser mais complexos que este, tendo em conta factores, objectivos e condicionantes adicionais.

Há já algumas décadas que uma variedade de ferramentas se encontra disponível no mercado para desenvolver circuitos de recolha equilibrados e otimizados, desde técnicas heurísticas a sofisticados programas de computador. A optimização da recolha consiste em minimizar o número de circuitos e tentar evitar que os veículos tenham que percorrer a mesma rua mais do que uma vez. Tchobanoglous *et al.* (1993) denominam ao conjunto de processos de planeamento e organização dos circuitos para atingir este objectivo por análise micro-circuito.

Independentemente da complexidade, características socio-económicas, e dimensão de um particular sistema de gestão de resíduos, a remoção dos RSU é uma preocupação

crescente a nível mundial (Karadimas *et al.* 2007), devido, principalmente, ao aumento demográfico da população mundial e a densificação das cidades (Levy e Cabeças, 2006).

De forma a fazer face a este desafio, e devido às preocupações económicas, ambientais e de saúde de que os resíduos são responsáveis, muitos municípios viram-se recentemente forçados a rever os seus sistemas de gestão de resíduos e avaliar a sua eficácia e eficiência em termos de recolha, transporte, processamento e destino final (Karadimas *et al.*, 2007).

Os custos da gestão de resíduos urbanos são elevados e de complexa quantificação sendo a área do ambiente da gestão municipal que mais fundos consome. Factores como a localização, a quantidade de RSU, a sua composição, o contexto social, o tipo de tecnologia utilizada na sua recolha, as distâncias percorridas no transporte e os recursos humanos utilizados, encontram-se todos entre os condicionantes dos custos do sistema de gestão (Karadimas *et al.*, 2007).

Para além disso, o número de trabalhadores, os diferentes tipos de veículos de recolha, as diferentes condições das vias de acesso e condicionantes de trânsito, as distâncias, as variações nas quantidades de resíduos produzidos em diferentes épocas do mês e do ano, entre outras variáveis, contribuem para a incrível complexidade de um problema de optimização de circuitos de recolha (Keller, 1973).

II.2. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

II.2.1. Conceitos e definições

A tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) está a evoluir e oferece métodos cada vez mais capazes de compreender, representar, gerir e comunicar os vários aspectos da terra como um sistema (ESRI, 2005).

Burrough (1986, *cit.* Antunes, 1997) apresenta um SIG como uma ferramenta informática, suportada em bases de dados que contêm informação gráfica e alfanumérica. A sua principal característica é a capacidade de desintegrar e actualizar informação de diferentes fontes e dos mais variados níveis de agregação e poder representá-la como mapas. Os SIG podem ter um papel valioso na optimização de circuitos ao integrar informação espacial na informação gerida (Sahoo *et al.*, 2005).

Para melhor se compreender o funcionamento e as vantagens de utilizar um SIG aplicado à construção de rotas optimizadas, é importante conhecer alguns conceitos e termos básicos utilizados em SIG, nomeadamente o que é uma rede, arcos e nós, a

otimização de percursos, a acessibilidade ou a impedância de uma rede, um *datum* e a resolução espacial.

Uma rede é um conjunto de pontos e linhas interligados que representam percursos possíveis de um local para outro. As redes geométricas consistem em arcos (troços), nós (junções) e a conectividade entre eles. As redes de dados consistem em arcos, nós, elementos de viragem e a conectividade entre eles. Um exemplo de uma rede corresponde a um conjunto de linhas interligadas representativas das ruas de uma cidade (ESRI, 2006).

O arco é um conjunto ordenado de vértices definidos através de pares de coordenadas (x,y) que, num SIG, compõem uma linha. O nó é o ponto que define o início ou fim de um arco, ou ainda, a intersecção entre dois arcos numa rede geográfica (Gaspar, 2004).

A análise de redes define-se como o conjunto de operações de análise espacial realizadas sobre redes geográficas. A optimização de percursos corresponde à determinação dos percursos mais curtos ou mais económicos entre dois vértices e é uma operação típica da análise de redes (Gaspar, 2004).

A acessibilidade de uma rede permite avaliar a facilidade de acesso de um lugar a outro, podendo ser medida recorrendo à distância, tempo ou custo. Já a impedância mede a resistência, dificuldade ou custo associado a um determinado percurso (Gaspar, 2004).

Um *datum* (geodésico) refere-se ao conjunto de parâmetros que constituem a referência de um sistema de coordenadas geográficas. Existem vários *data* geodésicos locais utilizados na cartografia topográfica que são escolhidos de forma a minimizar as distâncias entre o geóide e o elipsóide de referência, na zona de interesse, mantendo paralelos os eixos da Terra e do elipsóide. Os mais importantes a nível nacional são o *Datum* Lisboa (com ponto de fixação no castelo de São Jorge), o *Datum* 73 (com ponto de fixação no vértice geodésico Melriça) e o Datum Europeu (ED50) (fixado perto do centro geométrico da Europa) (Gaspar, 2004).

O termo resolução espacial, no contexto de um sistema de detecção remota, refere-se à menor área de terreno que esse sistema de detecção remota é capaz de discriminar (Gaspar, 2004).

II.2.2. Papel dos SIG na análise de redes

A aplicação de SIG à gestão de um município faz todo o sentido, pensando na quantidade de informação georreferenciada e cartografada existente. Tal implementação permite uma contínua monitorização do sistema e uma rápida detecção e avaliação de problemas (Antunes, 1997). Para além disso, e segundo Maguire *et al.* (1991, *cit.* Antunes,

1997), os SIG permitem o desenvolvimento de operações complexas de análise a diferentes escalas partindo de relações entre elementos gráficos e alfanuméricos, que constituem elemento fundamental para melhor diagnosticar a realidade e alocar recursos existentes.

Rhind (1991, *cit.* Antunes, 1997) apresenta as seguintes cinco questões tipo às quais um SIG permite responder:

- Localização – O que é que está em ...?
- Condição – Onde é que se situa ...?
- Tendências – O que é que mudou desde ...?
- Padrões – Que padrão espacial existe ...?
- Modelação – E se ...?

A primeira questão tipo refere-se à localização de objectos geográficos e eventos na superfície terrestre. É bastante fácil determinar, com o recurso a um SIG, que objectos se encontram em determinado local, bastando para isso uma consulta à base de dados directamente relacionada com o mapa digital.

A segunda questão relaciona-se com a busca de objectos que respeitem determinadas condições. Estes objectos também podem ser facilmente localizados no espaço com o recurso às ferramentas SIG.

A questão tipo que representa as tendências temporais requer ao SIG que conserve registos temporais diferentes dos objectos geográficos analisados. A análise comparativa entre o estado dos objectos geográficos permite chegar às conclusões relativas às tendências ao longo do tempo.

Os padrões espaciais referentes a determinado evento descrevem a forma, em padrões de regularidade ou homogeneidade, como esses eventos se manifestam no espaço podendo ser detectados com recurso aos SIG.

Por fim, os SIG possibilitam ainda responder a problemas de modelação estudando desenvolvimentos e propondo opções a variadas situações (Antunes, 1997).

Numa base de dados comum, os atributos de um cliente ou local de recolha de RSU incluiriam possivelmente nome, morada e, no caso de um sistema privado, informação acerca do pagamento do serviço, e a informação seria utilizada para efeitos de contacto com a pessoa ou controlo de pagamento. No entanto, não seria possível, através desta informação apenas, agrupar correctamente clientes de modo a criar rotas e verificar os percursos mais adequados para a recolha dos resíduos (Sahoo *et al.*, 2005).

A informação espacial que falta é exactamente aquela que um SIG oferece. Com recurso à morada do cliente, o SIG possibilita a localização espacial do ponto de recolha num mapa com sistema de coordenadas x, y, z, onde, acrescentando outras informações como as

estradas e acessos, se pode realmente ter a noção da localização do cliente relativamente a ruas, pontos de referência, outros clientes ou circuitos de recolha (Sahoo *et al.*, 2005).

Esta característica, apenas, já permitiria aos analistas de redes visualizar o conjunto do sistema e manipular os circuitos. No entanto, já vários SIG, como o WasteRoute descrito por Sahoo *et al.* (2005), têm instrumentos que permitem a modelação de circuitos optimizados. Para isso, o WasteRoute precisa apenas que os analistas construam uma matriz de origem/destino (OD). Essa matriz adquire qualquer distância e tempo decorrido numa viagem entre dois pontos da rede de estradas, considerando limites de velocidade, características direccionais das estradas (como sentidos, ou restrições ou penalidades nas viragens), e comprimentos exactos de segmentos (Sahoo *et al.* 2005).

II.2.3. O Problema de optimização de rotas de veículos aplicado à recolha de RSU

O Problema de Optimização de Rotas de Veículos (PORV), conhecido na literatura inglesa por "Vehicle Routing Problem", independentemente do algoritmo ou ferramenta utilizado para o estudar, é comum a várias actividades e não apenas à da recolha de RSU. Pode-se aplicar a actividades tão variadas como a distribuição do correio, transporte escolar, venda ambulante ou cadeias de fornecimento.

Apesar das diferenças existentes na gestão dos diferentes tipos de frotas, a natureza deste problema encontra-se sempre no transporte de algo entre os clientes (*customers*) e as infra-estruturas de serviço (*facilities*), através de uma frota de veículos (Rizzoli *et al.*, 2007).

Embora desde há muitas décadas já existisse uma forte necessidade e interesse em minimizar os custos de transporte dos produtos pela rede distribuição, apenas no início dos anos 90 foram introduzidas nos *softwares* de gestão de cadeia de fornecimento ferramentas que permitiam solucionar o problema de rotas de veículos (Rizzoli *et al.*, 2007).

Mesmo os métodos exactos mais avançados impõem condições e limitações ao problema analisado, que na transição do modelo para a realidade acabam frequentemente por ter de ser desrespeitadas, deixando os analistas insatisfeitos com as soluções ou aplicabilidade dos algoritmos (Rizzoli *et al.*, 2007).

Devido aos fracos resultados dos métodos exactos, os investigadores começaram a desenvolver métodos chamados de metaheurísticos. Os métodos metaheurísticos não são mais que métodos heurísticos que podem ser aplicados a uma grande variedade de problemas e que possibilitam a obtenção de boas soluções num curto espaço de tempo.

A integração de algoritmos de optimização, construídos com base em métodos metaheurísticos, abre novas perspectivas para a aplicação da investigação de operações na indústria e já vários métodos metaheurísticos foram aplicados com bons resultados ao problema específico das rotas de veículos. Exemplo disso são os métodos de arrefecimento simulado, pesquisa tabu, pesquisa tabu granulada, algoritmos genéticos, pesquisa local guiada, pesquisa variável da vizinhança, procedimento adaptativo de pesquisa aleatória gananciosa e a optimização de colónia de formigas (Rizzoli *et al.*, 2007).

Os problemas de rotas de veículos variam em termos de complexidade. Segundo Hartl (2006, *cit.* Rizzoli *et al.*, 2007), um problema com uma frota de veículos heterogénea, que apresenta limitações no acesso aos clientes servidos, janelas temporais de execução e com ordens definidas de recolha ou entrega, é designado por um problema de rotas “rico”.

Snizek *et al.* (2006) apresentam um destes problemas, denominado de “Aproximação Compósita para a Resolução de Rotas de Arcos Capacitados com Dependências Locais/Veículos (CARD – VSD)”. Este problema específico apresenta uma frota com pelo menos dois tipos diferentes de veículos, isto é, não homogénea, e pelo menos um arco na rede que não pode ser servido por um desses tipos de veículos, arco aqui entendido como ambos os sentidos de uma rua que ligam duas intersecções numa representação digital de uma área geográfica. Três situações podem ocorrer da dependência entre o arco e um dos tipos de veículos: ou o veículo pode servir o arco, ou o veículo pode utilizar o arco para se deslocar mas não servi-lo, ou o veículo não pode nem atravessar o arco nem servi-lo. Um exemplo da utilidade deste problema para a recolha de RSU encontra-se quando uma rede possui ruas demasiado estreitas para serem servidas por determinada classe de veículos (Snizek *et al.* 2006).

Mesmo assim, e segundo Zeimpekis (2007, *cit.* Rizzoli *et al.*, 2007), os problemas reais conseguem ser ainda mais complexos que os “ricos” ao considerarem que os tempos de viagem entre dois pontos são incertos devido ao trânsito, ou que o serviço requerido pelos clientes pode não ser possível de quantificar com exactidão, em termos de tempo ou dimensão. Estas variáveis são chamadas de variáveis dinâmicas.

O PORV pode ser melhor definido como um problema de optimização combinatória, cujo objectivo é encontrar rotas óptimas para uma frota de veículos encarregados de completar tarefas num número de clientes distribuídos espacialmente. A solução procurada para o problema corresponde sempre aos circuitos que, utilizando a frota disponível, permitem servir todos os clientes, respeitando todas as condições operacionais como capacidade ou horário de trabalho do motorista, e minimizar o custo total de transporte (Rizzoli *et al.*, 2007).

O algoritmo de resolução do problema requer a definição de objectivos que muitas vezes chocam entre si, sendo o objectivo mais frequente a minimização dos custos de transporte, que é definido em função do tempo ou da distância de transporte. Tal redução possibilitaria uma redução no número de veículos a utilizar o que pouparia os custos associados a esses veículos e aos seus motoristas e equipas (Rizzoli *et al.*, 2007).

Ainda de acordo com Rizzoli *et al.* (2007), os elementos que definem e condicionam o problema de rotas de veículos são os seguintes:

- Rede de estradas – Descreve a conectividade entre os clientes e as infra-estruturas de serviço. Pode ser obtida a partir de um mapa detalhado no qual as infra-estruturas e os clientes se encontram georreferenciados. A partir dela utilizam-se algoritmos que permitem calcular os percursos mais curtos entre os vários nós, de forma a construir a matriz de custo de transporte, que representa o tempo ou a distância necessária para viajar entre o nó x e o y. É possível que no problema de rotas de veículos, o custo de transporte entre vários nós dependa de outros factores ou que varie segundo condições como hora do dia ou o trânsito;
- Veículos – Fornecem o transporte entre os clientes e as infra-estruturas. As características dos veículos são importantes componentes do problema de rotas de veículos pois limitam em muito o seu serviço. As suas dimensões podem impedir os veículos de transitar em determinadas vias, o seu mecanismo de recolha ou entrega da carga pode impedi-los de servir determinados clientes e determina o tempo que os veículos gastam em cada cliente, e a sua capacidade influencia directamente o número de fretes que tem que cumprir até ao fim do seu serviço. Quase todas as frotas reais de veículos são heterogéneas mas podem ser homogéneas se as características de todos os veículos da frota forem iguais;
- Clientes – São servidos pelo sistema recebendo ou entregando a carga dos veículos. A quantidade de carga transaccionada pode influenciar o tempo de recolha/descarga e contribui para que seja atingida a capacidade máxima do veículo. Para além disso o tempo de transacção pode variar de cliente para cliente devido a outras variáveis como, por exemplo, o tipo de contentor que contém, a carga respeitante a esse cliente ou dificuldades de remoção/descarga específicos do cliente. Finalmente pode existir uma necessidade, absoluta ou relativa, de servir determinado cliente num intervalo ou horário específico. A diferença entre estas necessidades é que a relativa não invalida que o serviço seja efectuado noutra altura, mas apresenta repercussões que se traduzem como custos.

O elevado número de factores a ter em conta, torna ainda mais complexo o problema da recolha de RSU. Modelar com alguma exactidão este problema requer muita informação, nomeadamente dos seguintes factores (Sbihi e Eglese, 2007):

- Volume esperado e/ou peso dos diferentes tipos de resíduos a serem recolhidos e a respectiva variação sazonal da produção;
- Frequência actual da recolha (*i.e.* semanal, semanal alternado, mensal) e potenciais opções futuras;
- Tipo de recolha (*i.e.* recolha por adição, por substituição ou co-recolha);
- Localização dos pontos de recolha e restrições ao seu acesso;
- Localização das infra-estruturas de deposição e tratamento e horas a que as mesmas se encontram em funcionamento;
- Localização das garagens dos veículos e respectivas horas de abertura e encerramento;
- Número e capacidades dos veículos disponíveis;
- Requisitos em termos de recursos humanos, modo de operação dos turnos, horas diárias de trabalho e políticas relativamente a horas extraordinárias;
- Restrições ao nível da rede viária, por exemplo, ruas muito congestionadas em horas de ponta, ruas muito estreitas, ruas só de um sentido;
- Custos associados à recolha e eliminação dos resíduos.

Kim *et al.* (2007) resumiram os seguintes objectivos e condições de um PORV com Janelas Temporais, que não são muito diferentes de outros PORV virados para a optimização de sistemas reais de recolha de RSU:

Objectivos

- Minimizar o número de veículos;
- Minimizar o tempo de viagem;
- Maximizar a compactação dos circuitos;
- Equilibrar o trabalho de cada veículo no sistema total.

Condições

- Janelas temporais das paragens e do estaleiro
- Capacidades dos veículos (volume, peso);
- Capacidade de um circuito (número máximo de turnos, volume e peso máximo que pode ser gerido por uma equipa);
- Limite temporal de cada circuito por veículo;
- Viagens para despejar a carga (quando o veículo está cheio tem de despejar);
- Pausa para almoço do condutor.

Apesar de na maior parte da literatura o objectivo fulcral dos problemas de rotas de veículos ser minimizar o número de veículos e o tempo total de viagem, o objectivo de tornar os circuitos mais compactos é um critério importante a ter em conta em muitas aplicações práticas. A compactação dos circuitos depende da forma como as paragens estão agrupadas

num circuito. Uma solução na qual os circuitos se sobrepõem frequentemente é menos compacta que uma solução em que estes não se sobreponham (Kim *et al.*, 2006).

Para a implementação prática das soluções encontradas, torna-se importante considerar igualmente, como um objectivo, o equilíbrio de trabalho e o tempo entre as várias rotas (Kim *et al.*, 2006). Qualquer que seja a abordagem que se adopte, nunca se pode esquecer que uma solução otimizada aceitável não resulta só de uma solução tecnicamente mais eficiente, tendo que se assegurar, igualmente, que tem o apoio da população e que é exequível a sua implementação pela equipa de gestão de salubridade (Keller, 1973).

Qualquer optimização, ou planeamento de um sistema de gestão de RSU, tem como objectivo direccionar os resíduos produzidos nas suas várias fontes para a infra-estrutura apropriada, de maneira a tornar o sistema de transporte e as infra-estruturas de tratamento ou eliminação o mais eficientes possível (Keller, 1973), independentemente de se socorrer de tecnologia SIG ou não.

No caso de estudo apresentado por El-Hamouz (2008), conseguiu-se a optimização de um sistema de gestão de resíduos sem para isso se recorrer a tecnologia SIG. Para tal, a empresa responsável apostou na alteração dos horários de recolha, deslocação e reforço da contentorização e minimização dos circuitos de recolha. O processo de minimização dos circuitos de recolha dependeu muito da verificação prática de vários circuitos propostos. No entanto, a criação dos circuitos obedeceu a uma metodologia que seguiu os seguintes passos:

- Inicialmente prepararam-se mapas da região a abranger pelo sistema, onde se representava a qualidade das estradas e a acessibilidade que estas permitiam aos veículos;
- Os circuitos de recolha foram construídos de forma a começarem e acabarem próximos de estradas principais, e utilizaram-se barreiras físicas e topológicas para demarcar fronteiras dos circuitos;
- Todos os contentores foram colocados no lado direito do percurso do veículo;
- Em zonas de relevo, o início dos circuitos de recolha foi atribuído aos contentores situados em maiores altitudes, continuando o percurso em sentido descendente a partir daí;
- Os percursos dos veículos entre contentores foram construídos de modo a estes virarem à direita preferencialmente. Para além disso, cumpriu-se o procedimento universal de começar a recolha na altura do dia em que se verifica menor congestionamento de tráfego rodoviário.

No projecto desenvolvido por Karadimas *et al.* (2007), para a optimização dos circuitos da cidade de Atenas, os autores explicam que em Atenas era utilizado um sistema

de construção de circuitos manual, baseado no método empírico dos nós ímpares. No entanto, estes autores demonstraram que utilizar o algoritmo de colónia de formigas, um método de optimização que se recorre de um SIG, poderia significar encontrar percursos mais curtos para a recolha de RSU e, como tal, reduzir o tempo de conclusão de cada circuito e os custos associados à recolha.

O método de optimização de colónia de formigas é um método metaheurístico inspirado nas tácticas de busca de alimento utilizadas pelas formigas (Karadimas *et al.*, 2007; Rizzoli *et al.*, 2007).

As formigas, sendo animais praticamente cegos, libertam substâncias químicas conhecidas por feromonas para marcar os trajectos que tomam quando deixam o formigueiro em busca de alimento. Ao regressarem ao formigueiro, as formigas evitam perder-se seguindo os trajectos marcados por essas substâncias, o que também lhes permite regressar à fonte de alimento. Simultaneamente, outras formigas criaram os seus próprios trilhos de feromonas que as levam, possivelmente, à mesma fonte de alimento mas por um caminho diferente. De notar que a formiga que regressar mais cedo da fonte de alimento, renovará mais rapidamente o seu trilho de feromonas, elevando a sua concentração. Ora as formigas ao sair do formigueiro seguem preferencialmente o trilho de feromonas mais concentrado, libertando, por sua vez, os químicos e tornando o trilho ainda mais concentrado em feromonas. Isto acaba por levar a que o trilho que desde o início demonstrou ser o mais rápido seja, em pouco tempo, o único utilizado pelas formigas, pois até as que inicialmente seguiram caminhos diferentes são agora atraídas e contribuem para o aumento da concentração no caminho mais rápido. (Karadimas *et al.*, 2007)

Com o objectivo de encontrar o caminho mais curto em mente, é fácil perceber como é que as técnicas de busca das formigas podem beneficiar os algoritmos de optimização, e foram estas técnicas que Karadimas *et al.* (2007) desenvolveram para a cidade de Atenas.

O circuito óptimo, obtido por estes autores pelo sistema de colónia de formigas, tem uma distância de 7.328 metros, o que representa uma melhoria de 25,6% relativamente ao modelo empírico (9.850 metros). Este circuito corresponde ao melhor circuito obtido de todas as vezes que o algoritmo foi corrido. O circuito médio, resultante do algoritmo, tem a distância de 8.820 metros e representa uma melhoria de 10,45%, relativamente ao modelo empírico.

Para obter estes resultados, o algoritmo do sistema de colónia de formigas foi corrido mais de 27.700 vezes, com diferentes valores atribuídos aos seus parâmetros o que, tendo em conta que cada vez que era corrido demorava de 15 a 20 minutos a concluir, levou a que se demorasse 6 meses a obter a informação estatística recolhida. Dessas experiências, 120 vezes os resultados não foram aceites pelo sistema de colónia de formigas (distância

>1.000.000), em 26.550 vezes os resultados foram melhores que os apresentados pelo modelo empírico utilizado pelo município de Atenas, e em apenas 1.030 vezes os resultados foram piores (Karadimas *et al.*, 2007).

Para além da redução de custos, a optimização dos circuitos de RSU traduz-se, normalmente, numa melhoria dos indicadores de gestão ambiental da entidade responsável por este serviço, designadamente dos indicadores de desempenho operacional, de gestão e do estado do ambiente.

Desde 2003 que a CMA está a desenvolver um conjunto de acções e medidas com vista à implementação de um SGA e sua Certificação Ambiental através do EMAS (EMAS LAB, 2008). Apesar da tarefa de implementação do EMAS na CMA, e da arquitectura dos respectivos indicadores a utilizar, estar a cargo de um outro departamento da CMA, o trabalho desenvolvido nesta dissertação inclui uma perspectiva da gestão do ambiente focada na construção de indicadores relevantes para a recolha de RSU.

Como actividade prestada aos residentes do Concelho pela CMA, a recolha de RSU tem de ser considerada pelo SGA a certificar e, para tal, é fundamental que o seu desempenho ambiental seja traduzido em indicadores.

Estes indicadores não só serão importantes na fase de caracterização dos circuitos de recolha e discussão dos resultados obtidos após a optimização desses mesmos circuitos, como também servirão para os objectivos de divulgação do desempenho ambiental da recolha de RSU da CMA. Dessa forma, é importante que a sua construção obedeça a regras estabelecidas pela recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do EMAS, que têm em conta objectivos de análise do desempenho e transmissão da informação, e que têm tido uma aceitação global por parte das organizações que implementam o EMAS.

II.3. Sistemas de Gestão Ambiental e Certificação

II.3.1. Objectivos e âmbito

A protecção do ambiente e a utilização racional dos recursos têm assumido um papel de crescente importância na gestão das organizações, devido à maior percepção da sua fragilidade e da sua importância para o bem-estar das populações. A quantidade e o tipo de resíduos produzidos, as emissões gasosas libertadas e os efluentes gerados, provocam impactes ambientais em muito casos significativos e levantam preocupações no que diz respeito à sua eliminação.

O aparecimento de legislação mais restritiva e a busca por um desenvolvimento sustentável, induz as organizações a desenvolver medidas e a estabelecer objectivos que procuram não só um desenvolvimento no sentido de uma gestão mais consonante com o ambiente, através do controlo dos aspectos ambientais negativos resultantes das suas actividades, como, também, demonstrar as suas preocupações ambientais à sociedade onde se encontram inseridas (Pinto, 2005).

Para tal, é do seu interesse ir para além do cumprimento do sistema de regulação ambiental estatal tradicional (*i.e.* leis e fiscalização), que se tem revelado pouco eficaz na melhoria efectiva do ambiente e na promoção do desenvolvimento sustentável. Muitas organizações realizaram levantamentos ambientais para avaliar o seu desempenho ambiental e o cumprimento dos requisitos legais ou requisitos da sua política. No entanto, se não estiverem inseridos num contexto de sistema de gestão estruturado e integrado na organização, tais levantamentos podem não garantir que a organização cumpra realmente os requisitos ambientais e muito menos que os continuará a cumprir no futuro (ISO, 2005).

Este facto leva a que muitas empresas optem por implementar uma forma de regulação voluntária e pró-activa denominada de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (Pinto, 2005).

Um SGA constitui uma parte do sistema global de gestão de uma organização e visa o controlo dos aspectos ambientais da organização, através de uma abordagem estruturada e planeada à gestão ambiental, em todas as suas vertentes. Está, assim, direccionado para a definição de uma política, objectivos e metas na área do ambiente da organização e procura cumprir esses objectivos e metas, fazendo parte obrigatoriamente das suas funções as seguintes tarefas (Pinto, 2005):

- Definir a estrutura operacional;
- Estabelecer as actividades de planeamento;
- Definir as responsabilidades;
- Definir os recursos;
- Estabelecer as práticas e procedimentos;
- Assegurar a identificação de aspectos ambientais e determinar a sua significância;
- Demonstrar o cumprimento dos requisitos legais e outros que a organização subscreva.

Um SGA é composto por directrizes, que não substituem as leis nem os regulamentos nacionais, a serem seguidas pelos colaboradores dos vários níveis da organização, envolve toda a estrutura da organização bem como todos os que sejam influenciados pelas suas actividades, equipamentos, produtos e processos.

É um processo dinâmico e cíclico, que está sujeito a avaliações periódicas dos resultados obtidos no cumprimento de metas e objectivos através dos procedimentos adoptados, de modo a que a organização possa corrigir procedimentos e, desse modo, obter resultados cada vez melhores relativamente aos seus indicadores ambientais. Para tal, suporta-se, na maior parte das vezes, no ciclo de *Deming*, também conhecido por ciclo de melhoria contínua, em que se adopta uma abordagem faseada do SGA - planejar, implementar, avaliar, corrigir e novamente planejar, repetindo-se o processo indefinidamente. O resultado desta análise deve traduzir-se numa melhoria continuada do desempenho da organização em matérias ambientais (GETF, 2000; Pinto, 2005).

Apesar de ser um instrumento utilizado frequentemente no sector privado e por vezes se apontar o SGA como um instrumento desenvolvido especialmente para esse sector, as autoridades locais de todo o mundo têm demonstrado crescente interesse pelo SGA (Jirillo *et al.*, 2003). De entre os factores que motivam a participação das autarquias contam-se (GETF, 2000):

- Responsabilidades de cumprimento: preocupações relacionadas com potenciais problemas ambientais, incidentes e acções de repressão;
- Aumentar a confiança da gestão: a entidade gestora pretende assegurar-se de que as responsabilidades ambientais estão a ser correctamente acompanhadas e identificar oportunidades de melhoria;
- Factores organizacionais: melhorar a eficiência, preocupações ao nível da saúde e segurança dos trabalhadores, aumentar a moral e reduzir os custos;
- Preocupações ao nível da imagem da organização: melhorar as relações com o público e evitar críticas da imprensa;
- Melhorar as relações com as entidades reguladoras;
- Aspectos da privatização: manter a competitividade relativamente ao sector privado;
- Gestão do crescimento: lidar com o desenvolvimento do conselho em termos de urbanismo e população, utilizar o SGA como incentivo para atrair determinado tipo de indústria mais responsável ambientalmente e fazer passar a mensagem de que o concelho tem uma consciência ambiental desenvolvida;
- Vontade da autarquia em se demarcar como líder e inovadora na área do ambiente.

O EMAS (Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria), é um referencial de implementação de um SGA aplicável a actividades industriais e, desde 2001, a todas as organizações dos países da UE que desejem melhorar o seu desempenho ambiental (UE, 2001; Pinto, 2005). Como tal, é um documento de referência cuja função é definir critérios uniformes pelos quais o sistema deve ser projectado, implementado e avaliado. Este não define métodos nem técnicas de gestão ambiental, no entanto, permite a certificação do SGA

(Pinto, 2005). O objectivo principal do EMAS é promover uma nova cultura de empreendedorismo que respeite o ambiente e o proteja, de modo que a União Europeia realça o EMAS como um modo directo e eficiente de atingir o desenvolvimento sustentável (Jirillo *et al.*, 2003).

Existe uma distinção importante entre uma norma ou referencial, como a ISO 14001 ou o EMAS, que permitem a certificação do SGA de uma organização, e um guia de aplicação não certificável que auxilia uma organização a implementar um SGA. A gestão ambiental abrange uma vasta gama de questões para as organizações, incluindo questões com implicações estratégicas e de competitividade. A certificação reconhecida do SGA assegura aos colaboradores, clientes, estado e outras partes interessadas, que os esforços desenvolvidos pela organização em matéria de ambiente são autênticos e permitiram a implementação de um SGA adequado (ISO, 2005; Pinto, 2005).

A participação das organizações no EMAS processa-se a título voluntário, permitindo-lhes, no entanto, beneficiar de um valor acrescentado em termos de controlo regulamentar, poupança nos custos e imagem pública (UE, 2001).

A vantagem do EMAS, relativamente à norma ISO 14000, prende-se com o facto de este apresentar requisitos mais restritivos nos campos do desempenho ambiental, envolvimento dos trabalhadores, auditorias internas e comunicação com as partes interessadas (Pinto, 2005). Organizações aderentes ao EMAS podem aumentar continuamente a transparência dos seus processos produtivos e simultaneamente torná-los mais eficientes em termos de recursos utilizados. Estas medidas resultam num aumento de competitividade e na confiança da sociedade para com a organização (Jirillo *et al.*, 2003).

Depois de implementado o SGA, a eficiência e o sucesso de como os objectivos e metas propostas pelas suas políticas de gestão são cumpridas, devem ser avaliados com recurso a indicadores relevantes, objectivos e de preferência fáceis de determinar (Silva, 2005).

II.3.2. Indicadores de gestão ambiental

A utilização de indicadores de desempenho ambiental por parte das organizações permite que estas transformem dados brutos em informações fáceis de compreender pelo público-alvo (UE, 2003). Esta utilização é incentivada no desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental por várias directrizes.

Segundo as orientações da UE (2003), relativamente à aplicação do EMAS, os indicadores de desempenho ambiental ajudam as organizações a condensar grandes quantidades de dados ambientais num reduzido conjunto de informações significativas. A

forma como os indicadores são construídos pode facilitar a visualização dos impactes da empresa sobre o ambiente e ajuda-a na tarefa de gestão dos seus aspectos ambientais. Além disso, ao condensar a informação ambiental, torna mais fácil a sua divulgação, que é cada vez mais procurada por organizações como agências de classificação e empresas de consultoria financeira.

Devido à possível morosidade e custo da recolha de alguma da informação ambiental, é importante que os indicadores produzidos sejam o mais eficientes possível e adequados à natureza da organização (UE, 2003).

Os indicadores devem incidir principalmente sobre os impactes ambientais significativos que a organização possa provocar, através das suas operações, gestão, actividades, produtos ou serviços, e apresentar um grau de sensibilidade que permita traduzir alterações significativas em termos de impactes ambientais. Numa fase inicial, numa organização de recursos limitados, a utilização de indicadores pode ficar confinada aos aspectos considerados mais pertinentes, sendo posteriormente e progressivamente alargada a outros aspectos. Se possível, deve-se tentar atribuir alguma flexibilidade aos indicadores durante a sua construção de modo a que estes possam ser utilizados não como apoio à gestão da organização mas, também, como fonte de informações às partes interessadas (UE, 2003).

A norma ISO 14031 define a avaliação do desempenho ambiental como o processo utilizado para facilitar as decisões da direcção relativamente ao desempenho ambiental da organização. Essa avaliação recorre-se da selecção de indicadores, recompilação e análise dos dados, avaliação da informação comparada com os critérios de desempenho ambiental, informações e comunicações, revisões periódicas e melhorias do processo. Segundo a ISO 14031, o desempenho ambiental das organizações deve ser caracterizado com recurso a indicadores que permitam conhecer fundamentalmente dois aspectos: o desempenho ambiental da organização e as condições do meio onde a organização se insere (ISO, 2006).

Os indicadores de desempenho ambiental de que a organização se deve socorrer incluem indicadores de desempenho da gestão e indicadores de desempenho operacional. Os indicadores de condição ambiental descrevem o estado do ambiente onde está inserida a organização (ISO, 2006).

Quando o objectivo é analisar e comparar circuitos de recolha de resíduos, os indicadores de maior interesse são indicadores de desempenho operacional, os quais se referem aos seguintes aspectos (Moreira, 2008):

- Utilização de materiais no sistema (*e.g.* consumo de pneus);
- Utilização de energia (*e.g.* consumo de gásóleo por tonelada de resíduos recolhidos);

- Serviços de suporte (*e.g.* distância média percorrida por tonelada de resíduos recolhidos);
- Instalações e equipamentos (*e.g.* número de horas de manutenção preventiva da frota);
- Produtos/serviços realizados (*e.g.* número de habitantes servidos pelo sistema de recolha);
- Emissões para o ambiente (*e.g.* emissões de CO₂ por tonelada de resíduos recolhidos).

De acordo com a LIPOR (2008, *cit.* Moreira, 2008), esses indicadores permitem o seguinte:

- Descrever as condições operacionais do sistema e reflectir a adequação dos recursos;
- Fornecer informação relativa a produtividade, avarias, consumos, rendimento, entre outros;
- Comparar diferentes métodos de recolha;
- Caracterizar a situação de referência e monitorizar a evolução do desempenho;
- Avaliar e descrever os padrões de qualidade da prestação do serviço analisando reclamações e tempos de resposta a solicitações;
- Quantificar a distância a metas pré-definidas.

No entanto, tanto os indicadores de desempenho da gestão, como os indicadores de estado do ambiente, permitem complementar a informação relativa à avaliação da optimização dos circuitos de recolha de resíduos. Os indicadores de desempenho da gestão vão permitir, por exemplo, criar metas para a redução de equipamentos utilizados durante a recolha ou redução do número de reclamações devido à não recolha de contentores. Já os indicadores de estado do ambiente podem caracterizar o ambiente nas áreas afectadas pela recolha de RSU, nomeadamente a qualidade do ar.

A recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, para a implementação do EMAS, apresenta uma descrição das seguintes classes em que os indicadores podem ser divididos (UE, 2003):

- **Indicadores de desempenho operacional.** Representam os aspectos relacionados com o funcionamento de uma organização. São representativos das actividades desenvolvidas, produtos ou serviços oferecidos pela organização e abrangem os indicadores relacionados com emissões, reciclagem de produtos ou matérias-primas, consumo de combustível da frota de veículos ou consumos energéticos. Devido à sua natureza, constituem uma ferramenta de comunicação de dados ambientais por meio de relatórios ou declarações ambientais, em conformidade com o Regulamento EMAS. Para além disso, ao considerarem os aspectos financeiros, constituem a base dos custos da

gestão ambiental. Os indicadores de desempenho operacional podem subdividir-se em indicadores de fluxos de entrada, indicadores de infra-estruturas físicas, indicadores de equipamentos e indicadores de fluxos de saída e incidem no planeamento, controlo e monitorização dos impactes ambientais das operações realizadas pela organização.

- **Indicadores de desempenho da gestão.** Reflectem os esforços empreendidos a nível da gestão por criar as infra-estruturas e condições necessárias ao êxito da gestão ambiental. Por si só, os indicadores de desempenho da gestão não fornecem dados suficientes que permitam a construção de uma imagem precisa do desempenho ambiental da organização, servindo essencialmente para controlo interno e medição da informação. Abrangem, por exemplo, programas ambientais, os objectivos e metas, formação profissional, regimes de incentivos, a frequência das auditorias, inspecções no local, a administração e relações com a comunidade.
- **Indicadores do estado do ambiente.** Fornecem informações acerca da qualidade do ambiente envolvente à organização ou acerca do estado deste a um nível local, regional ou mundial. Podem descrever, por exemplo, a qualidade da água de um lago situado nas imediações da organização, a qualidade do ar da região, as concentrações de gases de efeito de estufa ou a concentração de determinados poluentes no solo. Devido à sua grande variedade, os indicadores de estado do ambiente adquirem especial importância ao permitem determinar os aspectos ambientais associados a impactes ambientais significativos, possibilitando que as atenções da organização incidam na sua gestão.

Normalmente, a organização pode contar, no caso dos indicadores de estado do ambiente local, regional ou mundial e dos problemas ambientais que daí decorrem, com medições e registos efectuados por instituições governamentais devido ao facto do estado do ambiente poder ser influenciado por vários actores, nomeadamente agregados familiares, transportes, ou outras organizações. Esses registos são utilizados para a obtenção de sistemas de indicadores ambientais descritivos dos principais problemas ambientais, permitindo que a organização, cuja actividade se manifeste no agravamento de um desses problemas, utilize os indicadores como orientação na definição de prioridades ao especificar os seus próprios indicadores e objectivos (UE, 2003).

Em termos históricos, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) demarcou-se como uma entidade pioneira na construção de indicadores e definiu um indicador como sendo “um parâmetro ou valor resultante de um conjunto de parâmetros que informa sobre um determinado fenómeno” (OCDE, 1993, *cit.* Silva, 2005).

A OCDE descreveu ainda critérios que seriam utilizados para a selecção de indicadores. Segundo esta, são três os critérios base que definem o indicador ideal e que,

apesar da maioria dos indicadores não preencher todos os critérios desejáveis, devem ser procurados na construção dos indicadores. Assim, um indicador ambiental deve:

- Ter relevância política, isto é, traduzir adequadamente as condições ambientais, as pressões sobre o ambiente ou as respostas da sociedade, ser de interpretação simples e fácil, ser sensível às mudanças nas condições ambientais e nas actividades humanas com ele relacionadas, ser aplicável a nível nacional e internacional, possibilitar a comparação com critérios legais ou outras metas/padrões existentes;
- Ter capacidade analítica, isto é, ser baseado em fundamentos tecnológicos e científicos, ter validação científica, ter possibilidade de relacionar-se com modelos económicos;
- Ser mensurável, isto é, a informação necessária para a sua determinação deve ser facilmente disponível ou disponível a um custo/benefício razoável, bem documentada e de boa qualidade, actualizada regularmente.

Para além da OCDE, nos últimos anos outras instituições, nomeadamente a Agência Europeia do Ambiente (EEA), o Serviço de Estatísticas da Comunidade Europeia (Eurostat) e a Organização das Nações Unidas (ONU), têm desenvolvido um conjunto de indicadores ambientais, onde se incluem os de resíduos (Fata e Moll, 2003, *cit.* Silva, 2005). Silva (2005) procedeu a um levantamento em várias fontes de numerosos indicadores do subsector de resíduos e de outros sectores que se podem relacionar com os indicadores de resíduos. Destes indicadores, seleccionaram-se aqueles que melhor descrevem um sistema de gestão de RSU e apresentam-se no Quadro II.1.

Quadro II.1. Indicadores de Resíduos (Silva, 2005)

Indicador	Entidade
Produção total de resíduos e por sectores	OCDE, EUROSTAT, DGA
Produção de resíduos municipais	ONU/Divisão Desenv. Sustentável
Composição dos resíduos municipais	OCDE
Produção total de resíduos	EEA
Produção de resíduos nas actividades doméstica, serviços e comércio	EEA
Percentagem de resíduos por tipo de tratamento	DGA
Percentagem de resíduos para destino final	DGA
Quantidade de resíduos domésticos depositados	ONU/Divisão Desenv. Sustentável
Quantidade de resíduos municipais depositados e incinerados	OCDE, EUROSTAT
Quantidade de resíduos perigosos depositados e incinerados	OCDE, EUROSTAT

(continua)

Quadro II.1. Indicadores de Resíduos (Silva, 2005) (continuação)

Indicador	Entidade
Quantidade de resíduos municipais depositados e incinerados	ONU/Divisão Desenv. Sustentável
Resíduos biodegradáveis depositados em aterro	EEA
Produção de resíduos de embalagem	EEA
Taxa de reciclagem de embalagens	EEA
Taxa de reciclagem e valorização de resíduos	OCDE
Taxa de reciclagem de resíduos por classe	EUROSTAT
Resíduos reciclados e reutilizados (%)	ONU/Divisão Desenv. Sustentável
Valorização e reutilização por classe de resíduos	DGA
Nº de unidades de tratamento e de deposição	OCDE, EUROSTAT
Produção de energia a partir dos resíduos	DGA
Taxa de deposição em aterro	OCDE
Custos na recolha e tratamento de resíduos	ONU/Divisão Desenv. Sustentável
Investimento e despesas na gestão de resíduos	DGA
Rendimento Privado	OCDE
Dimensão do agregado familiar	OCDE, EEA
Número de casas	EEA

Para além destes indicadores, o levantamento de Silva (2005) incluiu, também, alguns indicadores de reciclagem desenvolvidos pela ERRA (European Recovery and Recycling Association), que se apresentam no Quadro II.2, e que se encontram agrupados nas seguintes duas categorias:

- Indicadores de Impacte – Descrevem a influência do programa de reciclagem sobre a gestão dos resíduos na região abrangida;
- Indicadores Operacionais – Específicos do processo e responsáveis pelos valores dos indicadores de impacte, estes indicadores permitem avaliar a participação dos consumidores na política de reciclagem, as condições de recolha, triagem e reciclagem dos RSU e a eficiência do programa em relação aos custos e receitas.

Quadro II.2. Indicadores de Reciclagem (ERRA, 1994, *cit.* Silva, 2005)

Indicador	Cálculo	Categoria
Taxa de desvio	Razão entre a quantidade total de RSU recolhidos e enviados para valorização e a quantidade total de RSU produzidos pelos residentes na área servida pelo sistema de gestão em análise.	Indicador de Impacto
Taxa potencial de desvio	Razão entre a quantidade de materiais valorizáveis, produzidos pelos habitantes servidos e a quantidade total de resíduos produzidos pelos habitantes servidos	Indicador de Impacto
Eficiência do desvio	Razão entre a taxa de desvio real e a taxa potencial de desvio.	Indicador de Impacto

(continua)

Quadro II.2. Indicadores de Reciclagem (ERRA, 1994, *cit.* Silva, 2005) (continuação)

Indicador	Cálculo	Categoria
Eficiência do desvio	Razão entre a taxa de desvio real e a taxa potencial de desvio.	Indicador de Impacto
Taxa de valorização/reciclagem	Razão entre a quantidade de material alvo valorizado/reciclado produzido pelos residentes servidos e a quantidade total de material alvo disponível na corrente de resíduos produzidos pelos residentes servidos.	Indicador de Impacto
Taxa de recolha selectiva	Razão entre a quantidade de materiais recolhidos para reciclagem e a quantidade total de resíduos produzidos pelos residentes servidos pelo programa de recolha selectiva. Pode referir-se à totalidade dos materiais, ou a cada material recolhido selectivamente, sendo, neste caso, a quantidade de material alvo dividida pela quantidade de material alvo existente na totalidade dos resíduos.	Indicador Operacional
Taxa de participação	Razão entre o número de habitantes (ou residências) que participam no programa de reciclagem, pelo menos uma vez num período de quatro semanas, e o número total de habitantes (ou residências) abrangidos pelo programa.	Indicador Operacional
Taxa de refugo	Razão entre a quantidade de materiais rejeitados pelas estações de triagem e a quantidade de materiais recebidos na estação.	Indicador Operacional

Por seu turno, Santos *et al.* (1994) procederam ao desenvolvimento de indicadores com o objectivo de avaliar a produtividade (Quadro II.3) e os custos do sistema de recolha de RSU do município de Lisboa.

Os indicadores de custo considerados por Santos *et al.* (1994) são abrangentes para todo o sistema de recolha e extremamente detalhados. Ao considerarem, por exemplo, os custos para o sistema dos recursos humanos, os autores analisaram, para cada função, os componentes salário base, horas extraordinárias, subsídio de insalubridade, serviço nocturno, outros e encargos sociais. Nos custos da frota, englobaram as componentes combustíveis, seguros, lavagem, manutenção/materiais, manutenção/mão-de-obra, pneus, acidentes e amortização das viaturas, para duas classes distintas de viaturas e para o conjunto das duas. Para além disso, construíram-se indicadores sobre o custo de vários componentes do circuito por serviço prestado ou por km percorrido para o caso dos componentes da frota. O detalhe da análise chegou a incluir o custo de cada peça de fardamento dos cantoneiros e motoristas.

Quadro II.3. Indicadores de produtividade utilizados para a análise dos circuitos de recolha de resíduos do município de Lisboa (Santos *et al.* 1994)

Indicadores	Unidade
Capacidade instalada	t
Indicador de adequação da capacidade instalada	%
Capitação de RSU	kg/hab.dia
Quantidade de RSU removidos por km efectivo	kg/km
Quantidade de RSU removidos por hora de trabalho	t/hora
Horário efectivo de trabalho/horário normal	-
Tempo de espera por km percorrido	min/km
Tempo de espera por hora de trabalho	min/hora
Coeficiente de concentração dos circuitos	%
Velocidade média de trajecto	km/h
Indicador de avarias/mês	%
Indicador de avarias/zona	%

Moreira (2008) procedeu ao desenvolvimento de indicadores que permitissem caracterizar circuitos de recolha indiferenciada e avaliar a sua produtividade baseando-se, para tal, em nove circuitos do Concelho de Loures e um de Sintra. Estes indicadores permitem fazer análises comparativas entre circuitos, apoiar os técnicos na elaboração de novos projectos de recolha e fornecem informações acerca da operação de recolha e transporte de RSU, possibilitando o conhecimento dos pontos fracos e fortes dos sistemas implementados e a identificação de áreas problemáticas e correcção de situações menos eficientes.

No Quadro II.4 apresentam-se os indicadores operacionais e no Quadro II.5 os indicadores de produtividade, utilizados por Moreira (2008) para a comparação entre circuitos de recolha de RSU indiferenciados com diferentes características.

Quadro II.4. Indicadores Operacionais de circuitos de recolha de RSU indiferenciados (Moreira, 2008)

Indicadores	Definição	Cálculo	Unidade
Capacidade Instalada	Volume total de contentorização	Somatório do volume de todos os contentores existentes no circuito	m ³
Quantidade média de RSU recolhidos por dia de recolha	Quantidade de resíduos recolhidos por circuito por dia de recolha	Média de quantidade de resíduos recolhidos por circuito	t/circuito
Nº médio de fretes realizado por circuito	Número de voltas por circuito. Corresponde ao número de vezes que a viatura de recolha vai descarregar a sua carga ao cumprir um circuito.	Média do número de vezes que a viatura de recolha vai descarregar a sua carga	nº/circuito

(continuação)

Quadro II.4. Indicadores Operacionais de circuitos de recolha de RSU indiferenciados (Moreira, 2008)
(continuação)

Indicadores	Definição	Cálculo	Unidade
Consumo médio de combustível por circuito	Razão entre a quantidade total de combustível consumido no circuito e os quilómetros totais percorridos	(Quantidade total de combustível consumido por circuito/distância total percorrida)/100	l/100 km
Tempo total do circuito	Tempo que decorre desde que a viatura de recolha sai da garagem até ao momento em que regressa, depois de completar o circuito de recolha	Hora final do circuito (chegada à garagem) - Hora inicial do circuito. (partida da garagem)	h
Distância total do circuito	Distância percorrida pela viatura de recolha desde que a viatura sai da garagem até ao momento em que regressa, depois de completar o circuito de recolha	Quilómetros de chegada à garagem – quilómetros de partida da garagem	km
Tempo efectivo de recolha	Tempo que o veículo demora nas tarefas de esvaziamento dos contentores e deslocação entre contentores	Soma dos tempos efectivos de todos os fretes efectuados no circuito	h
Distância efectiva de recolha	Distância percorrida pela viatura de recolha nas tarefas de esvaziamento dos contentores e deslocação entre contentores.	Soma das distâncias efectivas de todos os fretes efectuados no circuito.	km
Tempo médio de recolha por ponto de recolha	Tempo que em média demora a operação de esvaziamento dos contentores para dentro da caixa da viatura e a reposição dos contentores no mesmo local da via pública.	Intervalo de tempo desde que a viatura pára para recolher os contentores de um determinado ponto de recolha até que parte para se dirigir ao próximo ponto de recolha.	mm:ss/ ponto de recolha
Tempo de transporte	Tempo desde o último ponto de recolha, quando o veículo atingiu a sua capacidade máxima ou quando finalizou o circuito, até ao local de deposição da sua carga. Se o circuito tiver mais do que uma volta, inclui também o tempo de regresso ao 1º ponto do 2º frete e o tempo de regresso ao local de deposição e assim sucessivamente.	Soma dos tempos entre o último ponto de recolha e o local de deposição, e regresso ao circuito, de todos os fretes.	h
Distância de transporte	Distância percorrida pela viatura desde o último ponto de recolha, quando o veículo atingiu a sua capacidade máxima ou quando finalizou o circuito, até ao local de deposição da sua carga. Se o circuito tiver mais do que uma volta, inclui também a distância de regresso ao 1º ponto do 2º frete e a distância de regresso ao local de deposição e assim sucessivamente.	Soma das distâncias entre o último ponto de recolha e o local de deposição, e regresso ao circuito, de todos os fretes efectuados.	km
Tempo no local de deposição	Tempo necessário ao esvaziamento da carga do veículo, desde a sua entrada no local de deposição (i.e. estação de transferência, aterro, incineradora, compostagem) até à sua saída.	Soma dos tempos no local de deposição (hora de saída do local de deposição – hora de chegada ao local de deposição), de todos os fretes efectuados.	h
Distância no local de deposição	Distância necessária ao esvaziamento da carga do veículo, desde a sua entrada no local de deposição (i.e. estação de transferência, aterro, incineradora, compostagem) até à sua saída.	Soma das distâncias no local de deposição (quilómetros à saída do local de deposição – quilómetros à chegada ao local de deposição), de todos os fretes efectuados.	km
Tempo de e para a garagem	Tempo que decorre da garagem até ao 1º ponto de recolha, mais o tempo do local de deposição (do último frete) até à garagem.	Tempo da garagem ao 1º ponto de recolha + tempo do local de deposição (do último frete) até à garagem.	h
Distância de e para a garagem	Distância que decorre da garagem até ao 1º ponto de recolha, mais a distância do local de deposição (do último frete) até à garagem.	Distância da garagem ao 1º ponto de recolha + distância do local de deposição (do último frete) até à garagem.	km

Quadro II.5. Indicadores Produtividade de circuitos de recolha de RSU indiferenciados (Moreira, 2008)

Indicadores	Definição	Cálculo	Unidade
Quantidade de RSU removidos por km efectivo	Razão entre a quantidade de resíduos recolhidos por circuito/dia e a distância efectiva do circuito. Reflecte a densidade de produção de resíduos no tecido urbano.	Quantidade de resíduos recolhidos por circuito/distância efectiva do circuito.	kg/km
Quantidades de RSU removidos por ponto de recolha	Razão entre a quantidade de RSU recolhidos por circuito/dia e o número total de pontos de recolha, ou contentores. Reflecte a quantidade média de resíduos depositados por contentor.	Quantidade de resíduos recolhidos por circuito/Número total de contentores.	kg/ponto
Quantidade de RSU removidos por hora de trabalho	Razão entre a quantidade de resíduos recolhidos por circuito/dia e as horas de trabalho efectivas/dia.	Quantidade de resíduos recolhidos por circuito/Horas de trabalho efectivas por dia.	kg/h
Coeficiente de concentração do circuito	Razão entre a distância efectiva do circuito e a distância total do circuito/dia; é uma medida da dispersão entre a localização do circuito, a garagem e o local de deposição dos resíduos.	Distância efectiva do circuito/Distância total do circuito.	%
Velocidade média de trajecto	Razão entre a distância total do circuito e o tempo total a realizar o circuito.	Distância total do circuito/Tempo total do circuito.	km/h
Nº de pontos de recolha / Circuito	Número total de pontos de recolha por circuito num dia de recolha.	Determinado através das monitorizações efectuadas ao circuito.	
Nº voltas / Circuito	Número de voltas/fretes por circuito. Corresponde ao número de vezes que a viatura de recolha vai descarregar a sua carga ao cumprir um circuito.	Determinado através das monitorizações efectuadas ao circuito.	
Consumo de combustível por km percorrido	Razão entre o consumo total de combustível para um circuito e os km percorridos.	Quantidade total de combustível consumido no circuito/Distância percorrida.	l/km
Horário efectivo de trabalho / horário normal	Razão entre as horas de trabalho efectivas/dia e o horário normal de trabalho (ex. se o resultado for 1,2, isto significa que 20% corresponde a horas extraordinárias).	Horas de trabalho efectivas por dia/Horário normal de trabalho.	%

Os indicadores levantados e construídos por outros autores têm muita utilidade na arquitectura de indicadores próprios aplicados à recolha municipal efectuada pela CMA e na sua classificação. Servem de exemplo de indicadores de gestão de resíduos, abrangem os vários campos a analisar e dão algumas orientações para a construção de indicadores semelhantes.

Não esquecer, no entanto, que para se construir indicadores adequados à implementação do EMAS, os princípios de base dos sistemas de indicadores ambientais a respeitar, acima de tudo, devem ser aqueles apresentados na recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do EMAS, designadamente (UE, 2003):

- Comparabilidade: os indicadores devem permitir estabelecer comparações e apontar as mudanças ocorridas em termos de desempenho ambiental;
- Equilíbrio: os indicadores ambientais devem distinguir entre áreas problemáticas (mau desempenho) e áreas com perspectivas (bom desempenho);

- Continuidade: os indicadores devem assentar em critérios similares e em períodos ou unidades de tempo comparáveis;
- Temporalidade: os indicadores devem ser actualizados com a regularidade necessária para permitir a adopção de medidas;
- Clareza: os indicadores devem ser claros e inteligíveis.

III. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

III.1. O Concelho de Almada

III.1.1. Características gerais do Concelho

Almada é um Concelho de Portugal com uma área de 70,2 km² (INE, 2001) que pertence ao distrito de Setúbal e se localiza a noroeste da península de Setúbal (Figura III.1). A sua ligação a Lisboa, a capital do país, faz-se através da ponte 25 de Abril, que possibilita tráfego rodoviário e ferroviário, e através das ligações fluviais Cacilhas/Cais do Sodré e Porto Brandão/Belém.



Figura III.1. Localização do Concelho de Almada (INE, 2008)

De acordo com os dados publicados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2008), a população residente no Concelho de Almada era, em 2006, de 166.013 habitantes e a densidade populacional era 2.364,8 hab/km². A dimensão média do agregado familiar era de 2,63 pessoas por agregado (INE, 2008).

Administrativamente, o Concelho encontra-se dividido em 11 Freguesias, sendo elas Almada, Caparica, Costa da Caparica, Cova da Piedade, Trafaria, Cacilhas, Pragal, Sobreda,

Charneca de Caparica, Laranjeiro e Feijó. A delimitação espacial das freguesias encontra-se na Figura III.2.

Durante o Verão verifica-se um grande influxo de pessoas para o Concelho, devido à frente atlântica de praias com uma extensão de 13 km. Isto resulta que exista em Almada uma população flutuante de cerca de 70.000 habitantes e receba aproximadamente 8.000.000 de visitantes por ano (Freitas, 2008).



Figura III.2. Divisão do Concelho de Almada em Freguesias (INE, 2008)

No Quadro III.1 apresentam-se alguns indicadores demográficos das freguesias, nomeadamente a área, a população presente e a densidade populacional, de acordo com os Censos de 2000.

Quadro III.1. Área, população presente e densidade populacional no Concelho de Almada (INE, 2001)

Município e Freguesias	Área (km ²)	População Presente	Densidade Populacional
Almada (Município)	70,20	156.027	2.289,92
Almada	1,32	18.801	14.235,33
Caparica	10,66	18.724	1.755,55
Costa da Caparica	10,22	11.389	1.114,79
Cova da Piedade	1,41	20.333	14.395,24
Trafaria	5,51	5.734	1.039,83
Cacilhas	1,04	6.627	6.342,16
Pragal	2,32	7.887	3.398,58
Sobreda	5,67	10.373	1.830,54
Charneca de Caparica	22,58	20.008	886,08
Laranjeiro	3,82	20.837	5.454,20
Feijó	3,77	15.314	4.064,74

O Concelho tem aproximadamente 880 km de comprimento de vias que se traduzem, em ambiente SIG, numa rede viária composta por 13.481 arcos e 10.078 nós (CMA, 2008b).

III.1.2. Produção de RSU

De acordo com os dados da Amarsul (2008), a capitação de resíduos em 2007 no Concelho de Almada correspondeu a 1,3 kg/hab.dia. O peso específico destes resíduos ronda os 171 kg/m³ (CMA, 2008a). A evolução das quantidades totais de RSU indiferenciados produzidos no Concelho, desde 1983 a 2007, é apresentada na Figura III.3.

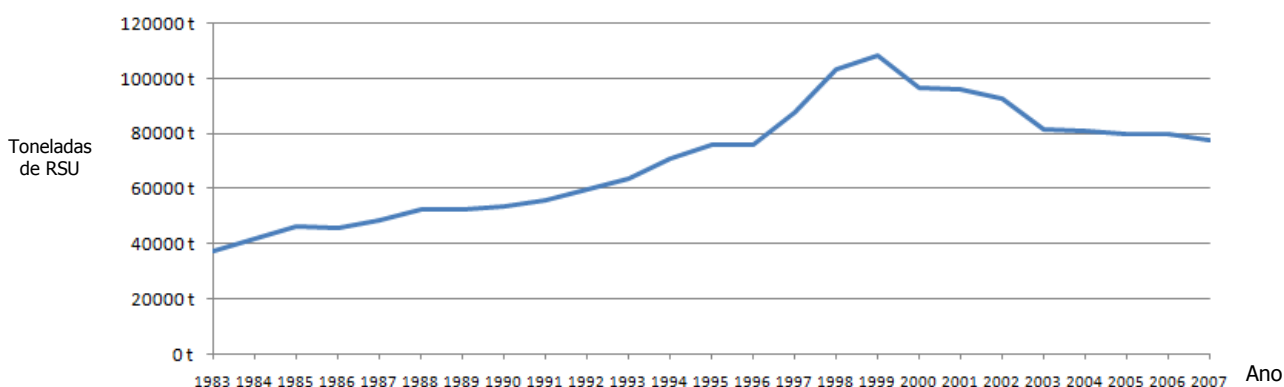


Figura III.3. Evolução da produção de RSU indiferenciados no Concelho de Almada, de 1983 a 2007

(Adaptado de Colaço 2002; INE, 2008; Amarsul, 2008)

A análise da Figura III.3, evidencia um crescimento contínuo da produção de RSU indiferenciados, de 1983 a 1999, momento a partir do qual se dá uma inversão e se regista um decréscimo da produção, com uma tendência para a estabilização a partir de 2003.

As razões para o decréscimo verificado não se devem a um eventual decréscimo da população do Concelho que desde o ano 2000 tem vindo sempre a aumentar (Figura III.4).

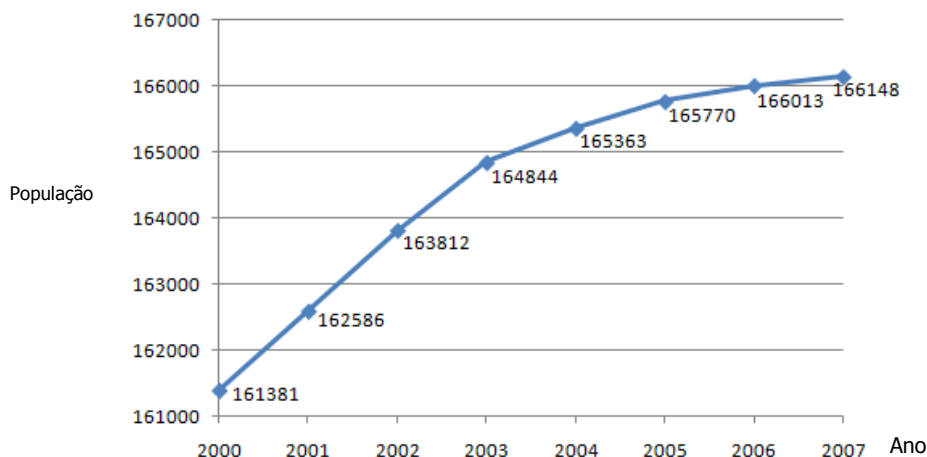


Figura III.4. Crescimento da população residente no Concelho de Almada (Adaptado de Colaço, 2002;

INE 2008; Amarsul, 2008)

Já a recolha selectiva terá contribuído certamente para o decréscimo na produção de RSU indiferenciados (Figura III.5), pois começou a funcionar em pleno exactamente no ano 2000, sendo que até aí se fazia apenas a recolha selectiva de papel e vidro e em menor quantidade que a verificada a partir desse ano.

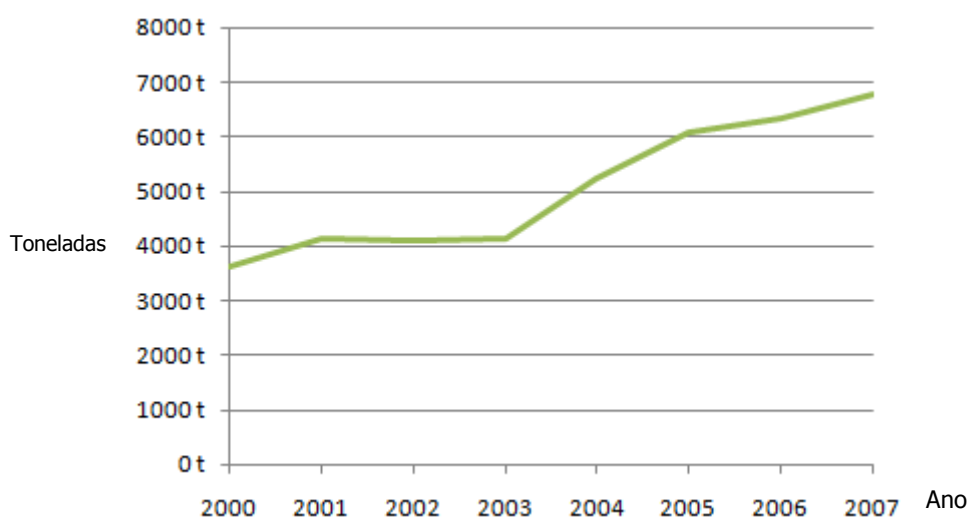


Figura III.5. Evolução da recolha selectiva no Concelho de Almada (Adaptado de Colaço 2002; INE 2008; Amarsul, 2008)

No entanto, a produção total de resíduos no Concelho tem seguido a tendência decrescente dos resíduos indiferenciados, indicando que a recolha selectiva não foi a única responsável pelo decréscimo da produção (Figura III.6).

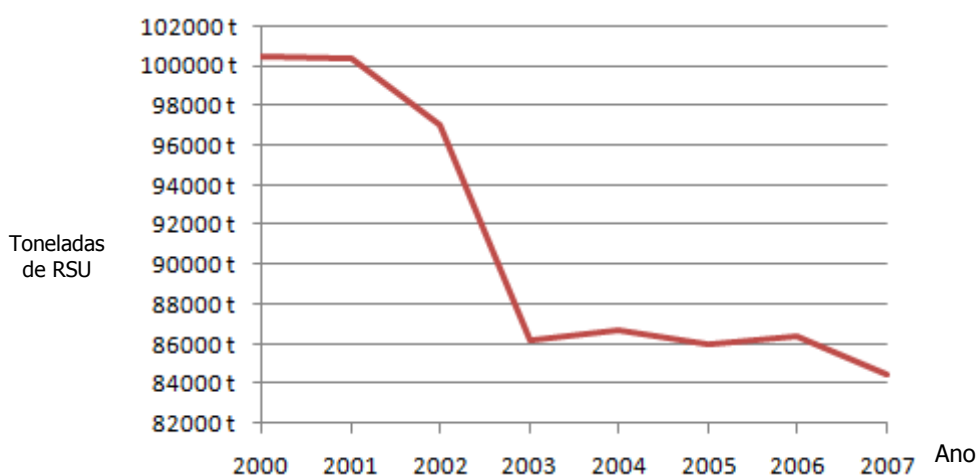


Figura III.6. Evolução da recolha de RSU (indiferenciada mais selectiva) (Adaptado de Colaço, 2002; INE, 2008; Amarsul, 2008)

Na análise de Colaço (2003), acerca dos dados dos censos de 1991 e 2001, relativos à variação da população nas freguesias do Concelho, a autora conclui que existiu uma

tendência da população em trocar as zonas mais urbanizadas do Concelho pelas zonas menos urbanizadas e que isso implicava sucessivos reajustamentos em todo o sistema de gestão de RSU.

Para além disso, Colaço (2003) indica que é uma característica das zonas urbanas terem uma captação de resíduos elevada. Caso a tendência de trocar as zonas mais urbanizadas pelas zonas menos urbanizadas tenha aumentado, essa pode ter sido uma razão fundamental que, combinada com o aumento da recolha selectiva, tenha contribuído para o decréscimo da produção de RSU a partir de 2000 até à actualidade. Uma outra possível justificação para o decréscimo da produção de RSU poderá relacionar-se com um eventual decréscimo do poder de compra dos residentes. Estas suposições, contudo, só poderão vir a ser confirmadas com o Censos de 2011 a efectuar pelo INE.

Segundo dados da Amarsul (2008), a recolha selectiva em Almada, em 2007, não ultrapassou 8,0% da produção total de RSU do Concelho, valor que parece baixo mas que no entanto é superior à média nacional de 6% obtida em 2006 (INE, 2008).

III.1.3. Composição física dos resíduos

Infelizmente, as campanhas de caracterização levadas a cabo pela Amarsul estão direccionadas apenas para conhecer a composição dos resíduos que chegam ao aterro sanitário do Seixal, para onde são conduzidos os RSU da recolha indiferenciada dos Concelhos de Almada e do Seixal, não se encontrando diferenciadas por Concelhos.

Assim, assumindo que a composição física dos resíduos produzidos em Almada é semelhante à dos RSU que chegam ao aterro do Seixal (Figura III.7), verifica-se que, em 2003, a soma dos resíduos provenientes de recolha selectiva somados com os resíduos recicláveis depositados no fluxo dos RSU indiferenciados (*i.e.* papéis, cartões, plásticos, vidro e metais) corresponderam a 39,6% do peso total de resíduos que chegaram às instalações da Amarsul no Seixal (Figura III.8).

Embora este valor não corresponda exactamente ao valor real, pois haveria que se descontar a humidade que estas componentes têm nos RSU indiferenciados, permite, no entanto, ter uma ideia da importância da participação dos cidadãos na reciclagem para a redução da pressão exercida sobre o sistema de recolha municipal de RSU indiferenciados.

A recolha selectiva para o Concelho de Almada correspondeu a 8% dos resíduos totais produzidos no Concelho.

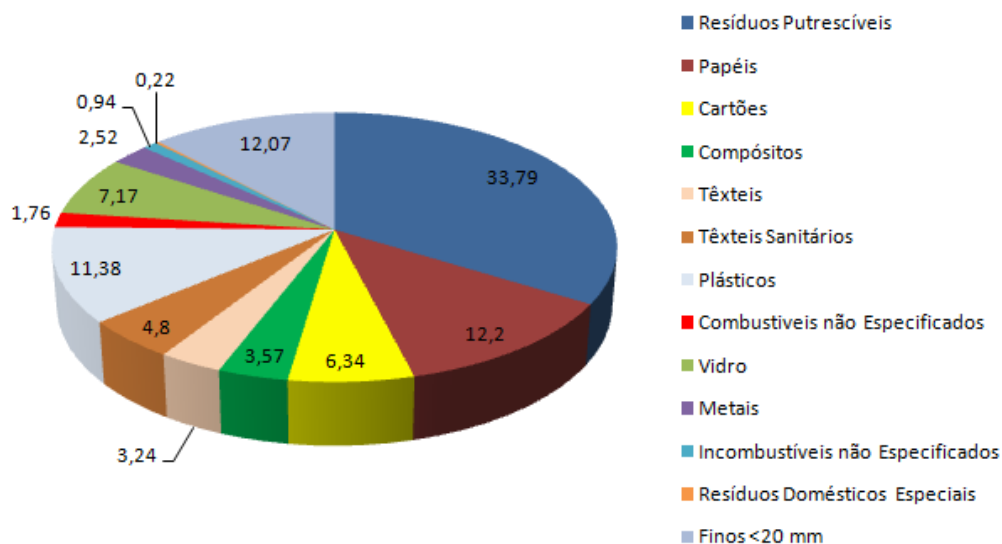


Figura III.7. Composição física dos resíduos depositados no Aterro do Seixal, em 2003 (Amarsul, 2003)

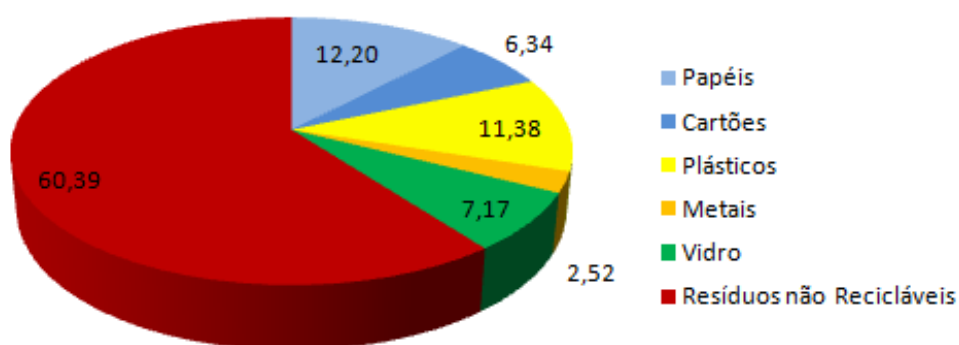


Figura III.8. Percentagem de resíduos recicláveis encaminhados para o Aterro do Seixal (Amarsul, 2003)

III.1.4. Caracterização do sistema de recolha de RSU

A Divisão de Salubridade da CMA (DSCMA) tem a seu encargo várias tarefas de limpeza pública no Concelho de Almada, entre elas a recolha de RSU indiferenciados que depois de recolhidos são encaminhados para o aterro sanitário da Amarsul no Seixal. Devido à aposta da CMA na descentralização dos seus serviços, a câmara tem várias instalações espalhadas pelo Concelho. A DSCMA faz parte do Departamento de Salubridade, Espaços Verdes e Transportes que funciona nas instalações da CMA de Vale Figueira.

É do estaleiro de Vale Figueira que partem as equipas e as viaturas de recolha dos RSU indiferenciados, encontrando-se o aterro sanitário da Amarsul no Seixal a uma distância do estaleiro de aproximadamente 3,7 km em linha recta e 5,2 km em trajecto.

A recolha selectiva por sua vez é da responsabilidade da Amarsul - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., que tem também a responsabilidade de instalar os ecopontos. Contudo, a recolha dos resíduos que são deixados junto aos ecopontos, e não no seu interior, é feita pela limpeza pública e recolha de RSU da DSCMA, que depois os encaminha para aterro como resíduos indiferenciados. Os resíduos recolhidos selectivamente pela Amarsul são encaminhados para a Estação de Triagem do Seixal.

Esta dissertação foca-se na optimização dos circuitos de RSU indiferenciados recolhidos pela CMA pelo que de seguida se descrevem as principais características do sistema de recolha de RSU indiferenciados.

A forma como as zonas de recolha de RSU se encontram definidas tem evoluído muito ao longo dos anos no Concelho de Almada. Até há pouco tempo, o único registo descritivo dos circuitos de resíduos resumia-se a uma lista para cada circuito dos locais abrangidos pela recolha. Para além das referências às rotas a tomar para cumprir os circuitos serem raras, a descrição dos locais era ambígua baseando-se muitas vezes no nome popular dos locais, difíceis de delimitar, e não no nome real das ruas. Para além disso não existiam cartas delimitadoras dos circuitos de recolha (Mileu, 1996). Isto faz com que seja impossível para alguém que não conheça os circuitos delimitá-los com exactidão.

Mais tarde surgem estudos e relatórios da CMA nos quais se definiam os limites geográficos dos circuitos com base em esquemas ou mesmo cartografia do Concelho, como o "Estudo sobre a optimização dos circuitos nocturnos", realizado em 1997 pelo grupo de trabalho da recolha hermética do departamento de ambiente. Por fim, com a adopção do software Geomedia, foi possível agrupar toda a informação existente relativa aos circuitos num ambiente SIG. No entanto, continuavam a não existir registos nem uniformidade relativamente ao percurso exacto a seguir para a execução de um circuito.

Neste momento, quando um novo motorista é contratado pela CMA, o circuito a efectuar é-lhe explicado oralmente pelo encarregado responsável e pelos cantoneiros que o acompanham na recolha. Como resultado, é muito comum que existam diferenças nos percursos tomados pelos vários motoristas durante a recolha apesar de as zonas de recolha serem habitualmente cumpridas.

Actualmente, os circuitos de recolha de RSU existentes e que se pretendem optimizar são os apresentados na Figura III.9.

O serviço de limpeza pública é responsável pela recolha de vários tipos de resíduos (*e.g.* varredura de ruas, papeleiras, limpeza de praias). Embora todos esses resíduos sejam classificados como RSU, os circuitos representados na Figura III.9 referem-se apenas à recolha periódica de RSU dos contentores das praias, habitações e pequenas empresas comerciais ou de serviços, com uma produção de resíduos inferior a 1.100 litros diários.

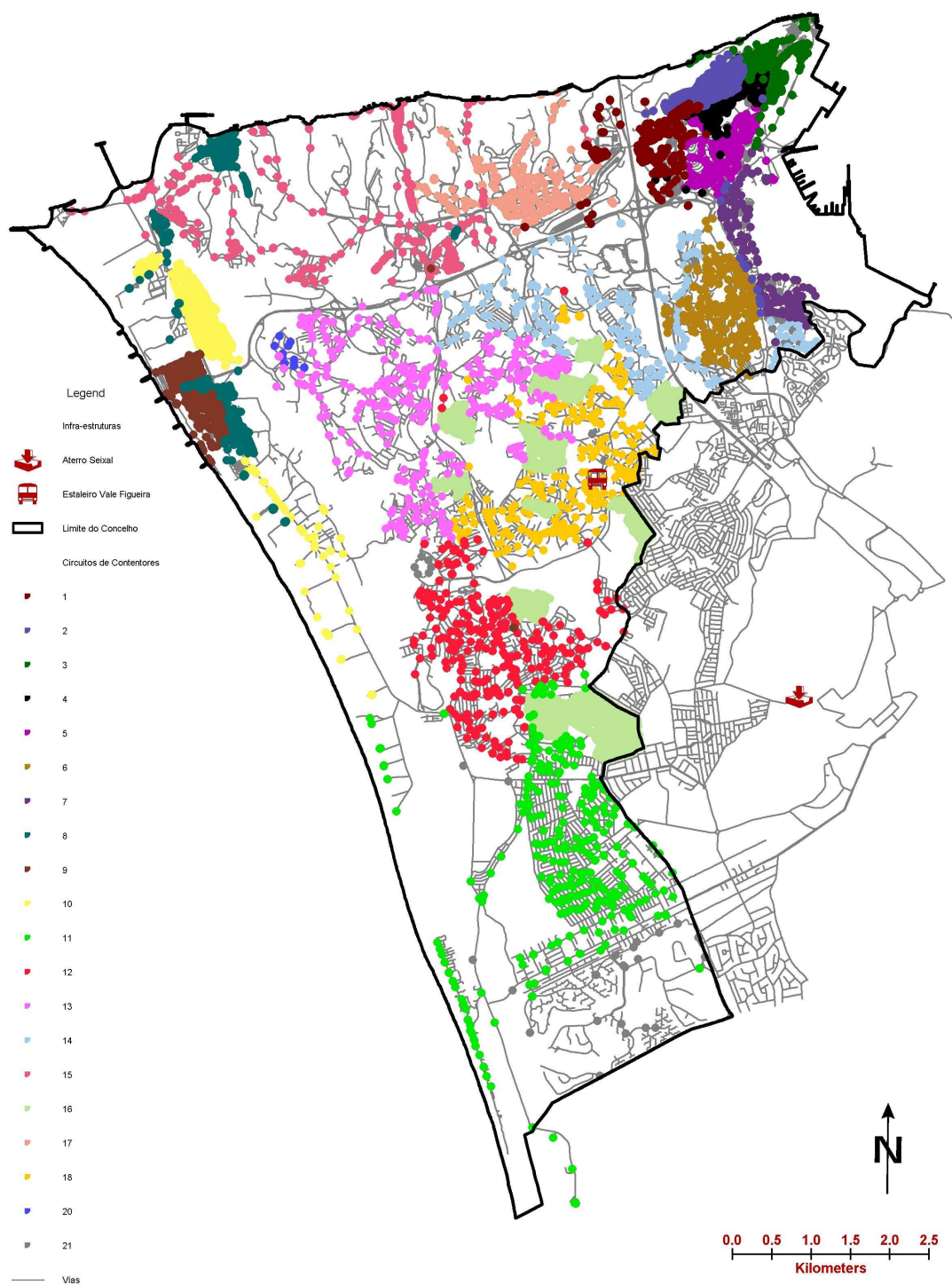


Figura III.9. Circuitos de recolha de RSU, situação pré-optimização (CMA, 2008b)

Os circuitos de 1 a 9 correspondem a circuitos nocturnos, com início às 22:30h e finalização às 5:30h. Esses circuitos abrangem as zonas mais urbanas que facilmente congestionam, casos particulares de instalações nocturnas ou cuja recolha faz mais sentido cumprir-se em horário nocturno (*e.g.* bares, discotecas e mercados).

Os circuitos 10 a 18 correspondem a circuitos diurnos, com início às 7:00h e com término às 14:00h. Abrangem zonas mais rurais que não tendem a congestionar tão facilmente.

O circuito 16 é um circuito diurno com algumas particularidades. A primeira particularidade é ser um circuito diurno quase integralmente de recolha porta-a-porta. O único outro circuito diurno de recolha predominantemente porta-a-porta é o circuito 10, no entanto nesse circuito o tipo de habitação a servir é quase exclusivamente habitação colectiva, enquanto no circuito 16 a habitação servida é predominantemente familiar. Para além disso, os contentores do circuito 16 são recolhidos duas vezes por semana, ao contrário dos restantes circuitos cujos contentores são maioritariamente recolhidos diariamente ou alternadamente durante a semana (ver Anexo 1). Por fim, o elevado número de contentores individuais atribuídos ao circuito 16 impede que sejam todos recolhidos num mesmo dia. O que acontece é que o circuito se encontra dividido em três zonas distintas que são recolhidas duas vezes durante a semana em diferentes dias da semana.

O circuito 20 corresponde à recolha exclusiva de contentores em profundidade, com uma capacidade de 3.000 litros, e o circuito 21 corresponde à recolha de contentores molok ou semi-enterrados, de 5.000 litros.

Existe ainda um circuito, que não se encontra representado na figura, o circuito 19, que corresponde a um reforço que se faz durante os meses de Verão às zonas com maior afluência turística, nomeadamente aquelas próximas das praias, servidas por contentores especialmente distribuídos nesta época do ano e dando apoio aos restantes circuitos que servem essas zonas.

Relativamente aos contentores existentes no Concelho, o número aproximado de contentores rondava os 11.399 representados no Geomedia. As incertezas quanto ao número devem-se à colocação de contentores que por vezes não é comunicada aos responsáveis pela actualização do SIG, ao extravio de contentores, e à desactualização da informação. Como se explicará mais à frente, este número foi actualizado durante o processo de optimização, no entanto, mesmo para o novo valor é impossível eliminar completamente a incerteza. A capacidade instalada no sistema de recolha de RSU era de 4.683,2m³, encontrando-se representada na Figura III.10 a localização dos contentores segundo a sua capacidade.

Nas zonas de recolha porta-a-porta, os contentores individuais têm as seguintes capacidades: 90 litros, 120 litros, 240 litros e 360 litros. No entanto, os contentores de 90 e 360 litros têm vindo a ser abandonados em favor dos contentores de 120 e 240 litros para a recolha porta-a-porta. Isso verifica-se, quer em habitações multifamiliares, quer

unifamiliares, devido à maior versatilidade destes contentores em termos de dimensões e facilidade de manobra pela equipa de recolha.

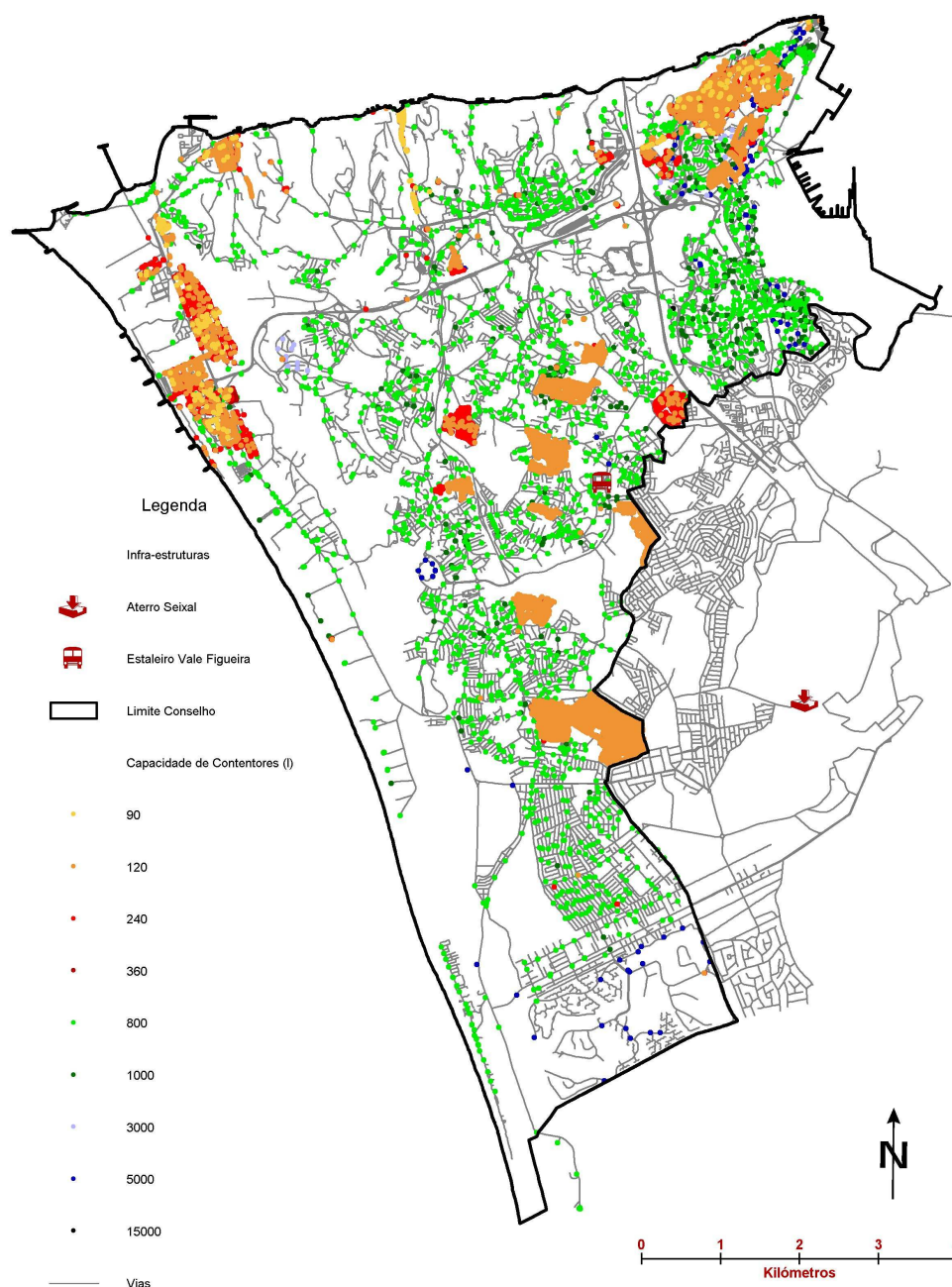


Figura III.10 Capacidade de contentorização do Concelho de Almada (CMA, 2008b)

Nas zonas de recolha por pontos, existem contentores colectivos com as seguintes capacidades: 800 litros, 1.000 litros, 3.000 litros, 5.000 litros (molok) e 15m³ (15.000 litros).

Os contentores de 3.000 litros, são contentores que se encontram enterrados sob o solo. Apesar de o número no Concelho ser actualmente reduzido, as obras relativas ao Metro Sul do Tejo incluem a instalação de vários contentores deste género ao longo de toda a linha do metro. A sua recolha requer um veículo provido de um equipamento especial. Esse veículo pode, no entanto, recolher outros contentores colectivos ou individuais.

Os contentores de 5.000 litros são conhecidos pelo nome de molok ou contentores semi-enterrados. Apesar da sua grande capacidade, o aspecto exterior do contentor é de design agradável à vista estando, para além disso, uma parte do contentor oculta sob o solo. Nas urbanizações novas de Almada, estes contentores têm por isso surgido como alternativas aos restantes contentores, evitando o impacte negativo da acumulação de contentores na via pública.

Os contentores de 15 m³, existentes para a deposição de RSU, são recolhidos com frequência indefinida, com recurso a um veículo próprio que substitui o contentor cheio por outro vazio antes de se dirigir a aterro. São em muito pequeno número, inicialmente colocados a título provisório em zonas específicas altamente produtoras de resíduos.

No Anexo 2 apresentam-se algumas fotografias dos vários tipos de contentores existentes no Concelho de Almada para a deposição de RSU indiferenciados.

A frota da CMA, disponível para a recolha de RSU, encontra-se indicada no Quadro III.2, assim como as suas principais características.

Quadro III.2. Frota da Câmara Municipal de Almada disponível para a recolha de RSU

Matrícula	Route/Vehicle ID	Contentores	Peso Bruto (kg)	Tara (kg)	Carga Útil (kg)	Capacidade de Carga (kg)	Período Analisado
72-00-FB	1	A,B,C,D,E,F	19000	10980	8020	8020	3/2005 - 2/2006
37-19-FN	2	A,B,C,D,E,F	19000	9780	9220	7730*	3/2005 - 2/2006
24-53-FN	3	A,B,C,D,E,F	19000	9780	9220	6530*	3/2005 - 2/2006
37-20-FN	4	A,B,C,D,E,F	19000	9780	9220	7010*	3/2005 - 2/2006
72-09-FB	5	A,B,C,D,E,F	19000	10980	8020	8020	3/2005 - 2/2006
30-79-FJ	6	A,B,C,D,E,F	19000	10980	8020	8020	3/2005 - 2/2006
19-88-FF	7	A,B,C,D,E,F	19000	10980	8020	8020	3/2005 - 2/2006
25-20-LU	8	A,B,C,D,E,F	19000	12372	6628	6628	3/2005 - 2/2006
47-85-NC	9	A,B,C,D,E,F	19000	10760	8240	8240	3/2005 - 2/2006
86-20-SX	10	A,B,C,D,E,F	19000	12810	6190	6190	3/2005 - 2/2006
86-21-SX	13	A,B,C,D,E,F	19000	12810	6190	6190	3/2005 - 2/2006
86-22-SX	14	A,B,C,D,E,F	19000	12810	6190	6190	3/2005 - 2/2006
86-23-SX	15	A,B,C,D,E,F	19000	14410	4590	4590	3/2005 - 2/2006
86-24-SX	16	A,B,C,D,E,F	19000	14410	4590	4590	3/2005 - 2/2006
91-72-ZL	11	A,B,C,D,E,F,G	19000	12465	6535	6535	3/2005 - 2/2006
72-AZ-55	18	A,B,C,D,E,F	19000	11770	7230	7230	2007
23-BB-63	12	A,B,C,D,E,F,G	26000	15430	10570	10570	2007
23-BB-85	19	A,B,C,D,E,F,G	26000	15430	10570	10570	2007
72-AZ-56	20	A,B,C,D,E,F	19000	11770	7230	7230	2007
72-AZ-57	21	A,B,C,D,E,F	19000	11770	7230	7230	2007
65-BF-26	22	A,B,C,D,E,F	15000	9880	5120	5120	2007
65-BF-27	23	A,B,C,D,E,F	15000	9880	5120	5120	2007
XC-57-69	17	H	19000	10440	8560		
33-22-FF	24	H,I	26000	12470	13530		
03-41-LT	25	H,I	26000	13026	12974		
93-78-TE	26	H,I	26000	12530	13470		

A = 90l; B = 120 l; C = 240 l; D = 360 l; E = 800 l; F = 1.000 l; G = 3.000 l; H = 5.000 l

A carga útil de uma viatura de recolha corresponde à subtracção da tara ao peso bruto da viatura, que pelo seu lado corresponde ao peso desta quando atingido o seu peso máximo legal com carga.

Muitas vezes, no entanto, acontece que a carga útil não corresponde ao máximo físico que a viatura consegue transportar. Sendo o volume o factor físico limitante da carga da viatura (Levy e Cabeças, 2006), pode acontecer a viatura ser sobrecarregada acima do peso legal ou possuir uma caixa que não lhe permite transportar tanto quanto o máximo admitido pela carga útil. Deste modo, interessou à optimização que fosse acrescentado mais um campo ao quadro dos veículos.

A capacidade de carga, descrita na penúltima coluna do Quadro III.2, corresponde à carga máxima transportada pela viatura em um qualquer dia do intervalo de tempo considerado na coluna final, a não ser que esta carga máxima ultrapassasse a carga útil. Nesses casos assumia-se a carga útil como a capacidade de carga da viatura de forma a cumprir as restrições legais.

No caso das viaturas 37-19-FN, 24-53-FN e 37-20-FN, a carga útil não é atingida no período de tempo considerado. No entanto, em vez de se assumir a capacidade máxima verificada para o intervalo de tempo analisado, para efeitos de optimização consideraram-se os valores respectivos de 6.957, 5.877 e 6.309, os quais retiram 10% da capacidade de carga. Trata-se de uma medida preventiva, pois estes veículos, os únicos com caixa de cilindro rotativo, ao ficarem muito cheios começam a libertar resíduos da caixa para a via pública, situação que também é influenciada pelo tipo de resíduos recolhidos e sua densidade.

Para além destas três viaturas com caixa de cilindro rotativo, das restantes 23 viaturas, 19 são viaturas por placa, três das quais estão equipadas com grua para a recolha dos contentores de 3.000 litros (enterrados), 3 são viaturas de caixa aberta do tipo ampliroll, adaptadas à recolha de contentores molok e caixas, e 1 é uma viatura de caixa aberta simples com grua, que também é utilizada na recolha de contentores molok.

No Anexo 3 apresenta-se exemplos de tipos de viaturas utilizadas na recolha de RSU indiferenciados do Concelho de Almada.

III.2. Descrição das características dos SIG da CMA

III.2.1. Considerações prévias

A CMA dispõe de dois sistemas de informação geográfica (SIG), o Geomedia e o Fleetroute, essenciais para a optimização de circuitos. O primeiro contém a informação de

base necessária à optimização e o segundo permite o cálculo das rotas optimizadas e permitia simular os indicadores que destas resultariam.

Antes de utilizar os dados de qualquer SIG é importante apresentar algumas informações que ajudam a caracterizar os dados de que se dispõe. Essas informações são chamadas de Metadados. Assim, e não esquecendo os conceitos abordados na revisão de bibliografia acerca dos SIG, é relevante mencionar que o Datum geodésico de referência para a informação disponível no Geomedia é o Datum 73, a resolução espacial do SIG é de 10cm, ou 1:1000, e que o levantamento da cartografia de base foi feito em 2001 por aerolevanteamento, isto é, levantamento fotográfico a partir de um avião.

III.2.2. O Geomedia

O Geomedia funciona como o SIG que, tendo por trás uma base de dados Oracle, é utilizado pela CMA e pelos SMAS de Almada para registar a informação geográfica relevante. A informação existente abrange temas de possível interesse comum a todas as divisões da câmara, como os edifícios, números das casas (denominados também de números de polícia), limites de freguesia e do Concelho ou ortofotomapas, e temas mais específicos a cada divisão da câmara como, por exemplo, os contentores no caso da DSCMA, vias no caso da Divisão de Trânsito, árvores no caso da Divisão de Espaços Verdes ou loteamentos no caso da Divisão de Urbanismo.

Deste modo, a informação que serve de base à optimização de circuitos foi inicialmente retirada deste SIG no formato de ficheiro shape, que pode ser lido tanto pelo Geomedia como pelo Fleetroute.

Os elementos necessários à optimização, requeridos pelo Fleetroute, foram retirados do Geomedia, designadamente os contentores e os eixos de via de trânsito transitáveis por viaturas da recolha de RSU. A esses elementos juntaram-se também os eixos de via de trânsito totais, os limites do Concelho e das freguesias, os edifícios e os números de polícia, os quais, apesar de não serem necessários ao processo do Fleetroute de construção de circuitos optimizados, facilitam a visualização das rotas e identificação dos pontos de recolha nos mapas resultantes.

Os dados retirados do Geomedia não se limitavam à localização e formato dos elementos escolhidos. Tendo por trás uma base de dados, a informação acerca de cada elemento constante no SIG é bastante completa.

Faz parte da temática dos contentores muita informação essencial à criação das rotas e que pode ser consultada através da "tabela" (table) dos contentores, nomeadamente o tipo de contentor, a capacidade (em litros), o circuito antigo a que pertencia, o código da rua

e do troço de rua a que pertence, o tipo de viatura de recolha, o tempo médio de recolha, a altura do dia em que esta é feita (dia ou noite), a quantidade média recolhida por dia de recolha (em kg), a periodicidade de recolha e o seu ID na base de dados. Para além desta, muito mais informação pode ser consultada na tabela relativa aos contentores como, por exemplo, o número do contentor, se este é de superfície, subterrâneo ou enterrado (que de qualquer maneira pode saber-se através da sua capacidade), o modelo do contentor, o material de que é feito ou o seu estado de conservação.

Já da temática das vias, faz parte muita outra informação essencial à optimização, nomeadamente a largura da via (que pode permitir ou não a passagem da viatura de recolha), o seu ID na base de dados, o seu comprimento, se é transitável ao trânsito ou não, a designação, número de sentidos, se permite a inversão do sentido de marcha, se permite a marcha em sentido contrário a viaturas de recolha de RSU, se permite a recolha em contra-mão, o código da rua a que pertence o troço e o código do troço (designado por *edgeID*), e informação complementar que ainda se encontra muito incompleta apesar do interesse que os seus campos poderiam ter. A título de exemplo dessa informação complementar refere-se a velocidade máxima na via, o sentido do declive, o tipo de via ou o estado de conservação desta.

III.2.3. O Fleetroute

O Fleetroute é um *software* baseado em tecnologia SIG que tem como objectivo o desenvolvimento de circuitos optimizados para frotas de recolha, tendo sido especialmente criado para frotas de recolha de resíduos. A interface da versão 2.7.1 do Fleetroute, utilizada para a optimização dos circuitos utilizados como caso de estudo nesta dissertação, encontra-se construída sobre uma base de ArcView 3.2, um SIG utilizado frequentemente na análise de informação no formato vectorial (CIVIX, 2006).

Como no caso dos restantes *softwares* de optimização de rotas, o Fleetroute tem em consideração inúmeras variáveis mas apresenta uma versatilidade que permite adaptar-se a vários tipos de recolha e às particularidades de diferentes sistemas de recolha.

Na página da Internet do Fleetroute (2004) são dados como exemplo circuitos de recolha residenciais e de bairro, circuitos comerciais e circuitos de área. Dentro das potencialidades descritas para o Fleetroute, destacam-se as seguintes:

- Maximizar a produtividade de cada veículo, mesmo com diferentes características e requisitos;
- Especificar o número máximo e mínimo de horas de trabalho, paragens, capacidade, viagens para descarga e distância percorrida para cada veículo;

- Equilibrar o tempo e a carga de trabalho dos circuitos;
- Especificar para cada veículo a sua área geral de trabalho;
- Gerar computacionalmente e editar circuitos de recolha ou otimizar os circuitos existentes;
- Perceber qual o ponto de descarga mais próximo na altura de cada viagem para descarregar e alocar os veículos aos estaleiros mais adequados;
- Saber qual o ponto do circuito mais adequado para interromper a recolha e iniciar uma viagem para descarregar;
- Conhecer localizações óptimas para novas infra-estruturas;
- Controlar o tipo de viragens efectuadas minimizando, por exemplo, inversões do sentido de marcha.

No processo de criar circuitos otimizados, o Fleetroute assume como objectivo minimizar a duração do circuito e as suas opções baseiam-se nesse factor. Por exemplo, se uma viragem à esquerda for definida como levando mais tempo que uma viragem à direita, o Fleetroute durante o processamento computadorizado de circuitos vai privilegiar viragens à direita em detrimento de viragens à esquerda, sempre isso resulte num ganho de tempo global. Outros programas podem assumir como factor decisivo a distância. O Fleetroute utiliza o termo inglês “routes” (rotas) para se referir aos circuitos, daí esse termo ser também utilizado nesta dissertação com o mesmo significado que circuito de recolha.

Para além das características dos contentores e dos eixos de via que são importadas do Geomedia, o Fleetroute necessita das características dos elementos correspondentes aos veículos, às infra-estruturas e às viragens, além de outros dados acerca do funcionamento do sistema (*e.g.* horário de recolha, tempo para almoço). Os resultados finais da optimização utilizando o Fleetroute são apresentados na forma de mapas e relatórios descritivos dos circuitos e que podem também ser editados e personalizados (exemplos: Anexos 6 e 7).

IV. METODOLOGIA

IV.1. Planeamento e cronograma do trabalho

Como se referiu no capítulo introdutório, os principais objectivos deste trabalho de investigação consistiram na implementação e na avaliação, ambiental e económica, de um processo de optimização dos circuitos de recolha de RSU do Concelho de Almada. Para esta avaliação, desenvolveu-se e determinou-se um conjunto de indicadores de desempenho ambiental dos circuitos, estruturados de acordo com a recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do Regulamento (CE) Nº 761/2001, que permite a participação voluntária das organizações num Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria.

Como também já foi referido, o trabalho desenvolveu-se no contexto de um estágio profissional realizado na Divisão de Salubridade da Câmara Municipal de Almada, que decorreu entre os meses de Janeiro e Agosto de 2008.

Em termos metodológicos, e para o cumprimento dos objectivos estabelecidos, o trabalho foi estruturado nas seis principais fases que de seguida se descrevem.

Fase 1. Revisão da literatura

Esta fase, que acompanhou praticamente todo o período em que decorreu o desenvolvimento da dissertação, consistiu na pesquisa bibliográfica de assuntos relacionados com as temáticas abordadas, nomeadamente como o sistema de recolha de RSU, a optimização de circuitos, a construção de algoritmos para a resolução de problemas de investigação operacional, a utilização de SIG em contexto municipal, os sistemas de gestão ambiental e casos de estudo da aplicação do EMAS e, ainda, o levantamento de casos de estudo de aplicação de indicadores ambientais a sistemas de recolha de RSU. Inclui-se ainda nesta fase todo o levantamento documental necessário para a caracterização do caso de estudo e das características do sistema de recolha de resíduos no Concelho de Almada.

Fase 2. Participação no projecto de optimização dos circuitos

Esta é a fase chave de todo o processo pois é nela que se constroem os circuitos optimizados e se obtêm os resultados que serão analisados e muitos deles convertidos em indicadores. O acompanhamento e participação no projecto de optimização foram fundamentais para a compreensão das dificuldades que se colocam no desenvolvimento e implementação de um processo desta natureza e para a discussão dos pressupostos e

opções que se tiveram que assumir. Devido à sua importância e complexidade, esta fase pode-se dividir nas seguintes sete sub-fases ou tarefas fundamentais:

- 1. Integração na equipa e familiarização com os *softwares* SIG a utilizar.** Esta sub-fase, que ocorreu durante o primeiro mês na DSCMA, correspondeu à apresentação a todos os elementos dos Departamentos que funcionam no Parque Municipal de Vale Figueira e, em particular, os da DSCMA. O autor foi inserido na equipa responsável pela optimização, composta pela Eng^a Patrícia Colaço da DS e pelo Dr. Rafael Neves dos SMAS de Almada, e foi posto ao corrente do ponto de situação do projecto e dos passos tomados até então. Para além disso, tomou-se contacto com as ferramentas SIG que seriam utilizadas.
- 2. Planeamento do projecto e selecção das zonas a analisar numa primeira fase.** Após o período de integração, planearam-se os passos a tomar e seleccionou-se a zona a analisar inicialmente (o circuito 16). Esta sub-fase voltou a ser abordada em momentos posteriores do projecto, nomeadamente aquando da percepção de que muitos dados existentes estavam desactualizados e quando se decidiu partir para a optimização de outros circuitos (diurnos).
- 3. Verificação no terreno de alguns pressupostos, circuitos e sua correcção nos SIG.** Este passo deu-se inicialmente quando houve a necessidade de criar alguns pressupostos relacionados sobretudo com tempos de recolha ou de viragem nas várias direcções durante o percurso, e quando foi necessário verificar a validade dos circuitos criados. Após estas verificações procedia-se a alterações nos SIG que normalmente levavam à necessidade de nova exportação de dados do Geomedia para o Fleetroute.
- 4. Levantamento de dados no terreno.** Coincidiu com o passo anterior, na medida em que quaisquer saídas ao terreno, devido ao tempo e planeamento que implicavam, eram aproveitadas ao máximo para a recolha de informações e dados, nomeadamente acerca de contentores, vias e outras informações úteis particulares.
- 5. Inserção de dados recolhidos no Geomedia e exportação de dados para o Fleetroute.** Pouco depois de o autor integrar a equipa responsável pela optimização e após a definição de alguns pressupostos, foi necessário exportar os dados relativos aos contentores e vias do Concelho, do Geomedia para o Fleetroute. Neste momento, no entanto, o autor ainda não estava completamente ao corrente do projecto, pelo que a sua participação mais activa no planeamento e definição dos passos a seguir se deu posteriormente. Esta operação foi retomada por diversas vezes, sempre que foi necessário actualizar a informação, particularmente relativa às vias, mas também a contentores. Como o Geomedia era o SIG disponibilizado aos vários departamentos da CMA, não fazia sentido actualizar as informações apenas no Fleetroute, que estava restrito à tarefa da optimização, desperdiçando recursos. Assim, era essencial que a informação nos dois SIG fosse coincidente.

6. Criação automatizada das rotas recorrendo ao Fleetroute. Depois do carregamento dos dados no Fleetroute e da definição de quais os contentores a abranger pelos circuitos a criar, procedeu-se aos passos necessários à criação de circuitos otimizados utilizando a ferramenta de optimização do programa. Frequentemente, correr a ferramenta apenas uma vez não era suficiente para obter os resultados pretendidos e, após os circuitos automáticos estarem criados, requeria-se uma análise mais pormenorizada dos novos circuitos. Sempre que foi necessário importar informação do Geomedia para o Fleetroute, foi preciso repetir os processos que resultavam na criação automatizada de rotas.

7. Edição manual das rotas e percursos sugeridos pelo Fleetroute. Este passo correspondeu a dois processos disponibilizados pelo Fleetroute, que se seguiram à criação automatizada dos circuitos, e que permitiu trocar contentores entre circuitos e alterar o percurso adoptado pela viatura dentro de um circuito. Obrigava a uma análise mais atenta e pormenorizada dos circuitos por parte da equipa.

Fase 3. Agregação dos resultados obtidos

Esta fase requereu um *feedback* do Fleetroute, relativamente aos novos circuitos optimizados. Consistiu na agregação e organização desses resultados de modo a permitir a construção de indicadores e construção de conclusões.

Fase 4. Construção de indicadores ambientais e de produtividade do sistema de recolha de RSU indiferenciados

Nesta fase procedeu-se à construção de indicadores com o objectivo de caracterizar e comparar o sistema de recolha de RSU da CMA, antes e após a optimização, tirando posteriormente conclusões acerca da eficácia da optimização. Foram contabilizados os benefícios e prejuízos esperados e criaram-se indicadores que permitiriam, a mais longo prazo, avaliar o impacte da optimização sobre outras variáveis (*e.g.* segurança e saúde, reclamações, certos custos, entre outros).

Fase 5. Enquadramento dos resultados obtidos nos requisitos do EMAS

Para além de permitirem tirar conclusões acerca da eficácia da optimização dos circuitos, os resultados também permitem a construção de indicadores apropriados para descrever e divulgar o desempenho ambiental desta actividade da CMA. Esta fase consistiu pois na construção de indicadores de desempenho ambiental segundo os requisitos da recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003, relativa a orientações para a aplicação do Regulamento (CE) Nº 761/2001, de modo a que estes fossem adequados a um SGA que procura a certificação pelo EMAS.

Fase 6. Redacção da dissertação

A última fase correspondeu à redacção da dissertação.

No Quadro IV.1, apresenta-se o faseamento e cronograma das principais fases desenvolvidas.

Quadro IV.1. Faseamento e cronograma do trabalho

Fases	Meses								
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1. Revisão bibliográfica									
2. Participação no projecto de optimização dos circuitos									
Integração									
Planeamento do projecto									
Verificação no terreno de variáveis									
Levantamento de dados no terreno									
Inserção e exportação de dados									
Criação automatizada das rotas									
Edição manual das rotas e percursos									
3. Agregação dos resultados obtidos									
4. Construção de indicadores ambientais e de produtividade do sistema									
5. Enquadramento dos resultados obtidos nos requisitos do EMAS									
6. Redacção da dissertação									

IV.2. Procedimentos antecedentes à optimização e pressupostos e opções adoptados

As características das ferramentas utilizadas para o processo de optimização dos circuitos de recolha de RSU indiferenciados, o Geomedia e o Fleetroute, já foram apresentadas no capítulo III desta dissertação, pelo que de seguida se descrevem os procedimentos antecedentes à optimização e os pressupostos e opções que se tiveram que adoptar ao longo do processo.

Previamente ao início da colaboração no projecto de optimização de circuitos, já tinham sido efectuadas diversas experiências recorrendo à informação existente no Geomedia e à sua análise no Fleetroute. Essas experiências tinham tido fundamentalmente um carácter formativo, mas foram úteis para compreender a importância de algumas das variáveis utilizadas pelo Fleetroute.

De referir ainda que, em 2002, já tinha sido necessário proceder a uma campanha de monitorização, em que se fez o levantamento dos contentores existentes e sua localização. Esta monitorização fez parte do estágio da Eng^a Patrícia Colaço, a qual continuou a actualizar as informações relativas à colocação de novos contentores.

Uma outra campanha de monitorização foi levada a cabo de forma a conhecer as vias existentes no Concelho de Almada e inclui-las no SIG Geomedia. Para além disso, vários dados e indicadores relativos aos circuitos de recolha foram agregados de modo a preencher variáveis fundamentais no Fleetroute ou permitir uma análise crítica dos resultados obtidos por modelação.

Finalmente, recorrendo aos dados e indicadores recolhidos, utilizou-se o Fleetroute para calcular o tempo que demoraria a completar o circuito de recolha nocturno seleccionado numa primeira fase, o circuito 6, comparando-se o resultado da simulação com a situação actual, através da verificação no terreno por acompanhamento da equipa de recolha. Esta verificação, apesar de não ter sido conclusiva acerca da exactidão das variáveis e pressupostos utilizados no Fleetroute, permitiu a recolha de dados relativos aos tempos de recolha de cada contentor e o impacte que as viragens no percurso têm sobre o tempo total do circuito. De notar no entanto que, como tinha sido previsto pelo Fleetroute, o horário regular não foi suficiente para concluir o circuito que estava a ser acompanhado.

O passo seguinte consistiu na construção de alguns indicadores de grande utilidade para a optimização, nomeadamente a determinação do número de contentores que podiam ser recolhidos pelos vários veículos de recolha e por volta, em função da sua capacidade e do tempo disponível para a realização do circuito, antes da sua deslocação para descarga no aterro do Seixal.

Para este efeito, decidiu-se dividir a quantidade de resíduos totais recolhidos no ano de 2006 pelo total de contentores existentes, segundo a sua capacidade e periodicidade e tendo em conta a densidade média assumida para o Concelho de 171 kg/m^3 (CMA, 2008a). Desta análise resultou o indicador de taxa de enchimento (ou adequação da capacidade instalada) que para o Concelho foi estimado em 30,38%. Esta repartição da quantidade de resíduos por todos os contentores do Concelho é menos susceptível a erros resultantes de outliers que as médias calculadas directamente para a quantidade produzida por circuito, e permite preencher o campo quantidade recolhida por contentor, com valores que, depois de verificados no terreno, podem ser actualizados com maior exactidão.

Após esse passo, foi necessário importar as informações do Geomedia para o Fleetroute, de modo a garantir que as informações sobre as quais se trabalhava estavam o mais actualizadas possível. Já antes do início desta dissertação tinham sido importadas informações do Geomedia para o Fleetroute de modo a permitir o cálculo, por exemplo, dos

tempos do circuito 6 antes do processo de optimização. Assim, procedeu-se à exportação dos campos contentores, vias totais, vias transitáveis pelos veículos de recolha, limites do Concelho, limites das freguesias, edifícios e números de polícia do Geomedia, para um formato que o Fleetroute conseguia ler, o formato *shape*.

Depois de qualquer importação de dados é necessário seguir vários procedimentos que permitem que o Fleetroute, durante o processo de optimização, reconheça a informação recebida. Estes passos essenciais ao cálculo dos circuitos, apesar de simples, dependem muito da maneira como a informação está organizada no SIG de origem dos dados, e acabam por exigir uma boa parte do tempo utilizado na optimização, especialmente se tiverem de ser repetidos frequentemente. Exemplos de passos essenciais são o preenchimento das tabelas dos contentores ou de veículos, a atribuição dos contentores ao lado correcto da rua ou o cálculo da rede viária.

Embora tabelas tão importantes, como as dos contentores e vias, necessitassem apenas de ser adaptadas aos requisitos do Fleetroute, foi necessário criar por inteiro as tabelas correspondentes aos veículos e infra-estruturas e alterar, através do notepad, o ficheiro fornecido com o Fleetroute para a definição das proibições de viragem em alguns cruzamentos.

As informações a inserir na tabela dos veículos foram relativas à matrícula dos veículos, capacidade máxima (em kg), hora de início e de fim da volta pretendida, duração mínima e máxima da volta, quantidade mínima recolhida, número mínimo e máximo de contentores do circuito, distância mínima e máxima percorrida, número mínimo e máximo de viagens a aterro, infra-estrutura em que se inicia e termina o circuito (*i.e.* o estaleiro de Vale Figueira), infra-estrutura de descarga dos resíduos (*i.e.* o aterro sanitário do Seixal, da Amarsul), tempo de tolerância no início e no fim do circuito, tempo de descarga em aterro e duração da pausa para almoço.

Os dados relativos à matrícula e capacidade máxima dos veículos foram inicialmente retirados de um quadro informativo fornecido pela DTM, onde a capacidade máxima correspondia à carga útil do veículo. Mais tarde, quando houve a percepção que a carga útil nem sempre deveria corresponder à capacidade máxima do veículo, os valores da capacidade máxima foram substituídos pelos valores encontrados para a capacidade de carga. A capacidade encontra-se em unidades de massa pois, embora o volume seja o factor limitativo da quantidade de resíduos que um veículo consegue transportar (Levy e Cabeças, 2006), os veículos não podem pesar mais que um determinado limite máximo legal definido de acordo com o veículo, correndo-se o risco de multa em caso de incumprimento.

O que acontece frequentemente é que os veículos acabam por transportar mais que esse peso máximo, mesmo sem ultrapassar a sua capacidade em termos de volume. Assim,

o limite de capacidade apresentado representa esse limite legal e não um limite físico. Apenas no caso de três viaturas se verificou que a capacidade volúmica era inferior ao limite legal estabelecido para a capacidade mássica. Nesses casos, a capacidade mássica estabelecida corresponde ao máximo encontrado para o intervalo de um ano, entre Março de 2005 e Fevereiro de 2006, subtraindo-lhe 10% desse peso como uma medida de precaução que tem a ver com o facto destes veículos libertarem resíduos pela caixa quando muito cheios.

A hora de início e fim, estabelecidas para cada circuito, correspondem ao horário de trabalho dos cantoneiros, que, no caso do município de Almada, é das 7:00h às 14:00h, para o turno da manhã, e das 22:00h às 5:00h, para o turno da noite. Este intervalo de tempo (7h) correspondente à duração mínima do circuito, e deve obedecer aos seguintes pré-requisitos: ser o mesmo para todos os veículos cujos circuitos se calculam em simultâneo e não ser superior ao valor estipulado para a duração máxima dos circuitos. A duração máxima do circuito foi estabelecida em 6:30h, ou seja, menos 30 minutos que o horário de trabalho dos cantoneiros, para possibilitar alguma versatilidade aos circuitos criados que permita adaptá-los à realidade e aos imprevistos, bem como a sua eventual extensão no futuro.

De notar, no entanto, que os valores estabelecidos para os tempos funcionam apenas como recomendações para o Fleetroute, ou seja, são considerados no processo de cálculo dos circuitos, mas não são rigorosamente cumpridos se o Fleetroute conseguir desenhar circuitos otimizados em mais ou menos tempo que o designado. Nesse caso, os valores na tabela são alterados para os valores a que o Fleetroute chegou durante o processamento dos circuitos. O único valor que não é alterado é a hora de início do circuito.

Os campos quantidade mínima recolhida, número mínimo de contentores do circuito, distância mínima percorrida e número mínimo de viagens para aterro, foram todos preenchidos com o valor 0, e os campos número máximo de contentores do circuito, distância máxima percorrida e número máximo de viagens para aterro, foram preenchidos com valores inatingíveis pelo circuito (*i.e.* 99999), de modo a que os factores limitativos fundamentais dos circuitos sejam o tempo e a capacidade da viatura.

O tempo médio definido para o despejo de um contentor foi de 20 e 35 segundos, respectivamente para os contentores individuais e para os contentores colectivos. Esta informação foi assumida com base nas observações de campo relativas à recolha de vários contentores dos dois tipos, e com base nos resultados obtidos do estudo realizado pelo grupo de trabalho da recolha hermética da CMA (CMA, 1997) sobre circuitos nocturnos. Neste estudo, os autores obtiveram tempos médios de 22 segundos para os contentores individuais e 36 segundos para os colectivos tempos que se aproximavam muito dos encontrados pela equipa de optimização.

O tempo de deslocação entre contentores não foi definido pois é calculado pelo Fleetroute para cada troço do circuito, em função da distância entre pontos de recolha.

O cálculo da rede viária é um passo crítico que permite ao Fleetroute dividir a rede em arcos e nós e atribuir tempos a cada arco. Apesar de ser um processo automatizado pelo Fleetroute é necessário preparar os dados antes de se correr a função de optimização.

Estes passos encontram-se esquematicamente descritos num manual elaborado e editado pela equipa durante todo o período de interacção com o programa.

Depois de recolhidos e preparados todos estes dados, foi possível finalmente iniciar-se a optimização dos circuitos de recolha. Ainda assim, como se explicará mais à frente, foi necessário alterar alguns valores de variáveis que inicialmente tinham sido definidas de modo a actualizar e adaptar o modelo à realidade.

Uma lacuna do Fleetroute, possivelmente a mais limitativa neste caso de estudo particular, prende-se com a incapacidade do software para distinguir automaticamente a periodicidade da recolha dos contentores e os respectivos turnos de recolha. Isto é, perante os vários contentores, com periodicidades de recolha diferentes, e os vários veículos que servirão todos os contentores, o programa divide equitativamente os contentores pelos veículos e fornece os tempos totais para um dia de recolha, ignorando o campo "periodicidade". O resultado é um número de circuitos igual ao número de veículos, em que todos os dias se recolhem todos os contentores.

No caso dos EUA, Kim *et al.* (2006) verificaram que a frequência de recolha por semana varia com base no clima, geografia, competição e preço do serviço de recolha. Nos estados do Norte a recolha mais comum às habitações é a recolha uni semanal enquanto nos estados do Sul as habitações são normalmente servidas por recolha bissemanal. Estando a recolha semanal definida para um conjunto de circuitos, esta repete-se todas as semanas. Isto permitiu aos autores assumir como pré-determinada a recolha semanal, possibilitando que as rotas sejam calculadas simultaneamente não exigindo, como no caso de Almada, a separação dos contentores com diferentes periodicidades de recolha, situação que simplifica o processo de optimização.

No caso do Concelho de Almada o que se verifica é a existência de contentores com diferentes periodicidades de recolha espalhados pelo município. Alguns são necessariamente recolhidos diariamente e outros são apenas recolhidos uma vez em cada dois dias ou têm uma periodicidade ainda menor. Por vezes estas diferenças ocorrem na mesma rua.

Ignorar a periodicidade dos contentores a recolher só seria eventualmente possível caso esta fosse igual para todos os contentores. No caso de Almada, no entanto, muitos dos contentores atribuídos a circuitos construídos sem ter em conta a periodicidade necessitariam de uma recolha menos frequente que a diária e, como tal, os circuitos teriam

percursos desnecessários e tempos sobrestimados para todos os dias, excepto para um hipotético dia em que a recolha fosse necessária também para todos os contentores de menor frequência.

A inclusão directa de contentores com diferentes periodicidades num circuito e respectiva optimização espaço-temporal não pode, assim, ser feita cegamente, obrigando a uma análise do problema bem mais cuidada por parte do analista e a uma estruturação da sua resolução diferente da que poderia ser esperada inicialmente.

O passo seguinte foi então analisar cuidadosamente as periodicidades dos vários contentores, o turno em que eram recolhidos e a sua localização. Dessa análise resultou a decisão que o melhor procedimento a seguir passava pela divisão inicial da optimização em cinco fases distintas, correspondentes a diferentes grupos de contentores, designadamente:

- Os contentores enterrados, abrangidos por um circuito de recolha exclusivo, apesar de o veículo que os recolhe ter capacidade para recolher outros contentores;
- Os contentores molok, abrangidos por um circuito de recolha exclusivo e cujo veículo de recolha é específico para a sua recolha;
- Os contentores nocturnos, que para além de pertencerem ao mesmo turno, são praticamente todos de recolha diária;
- Os contentores diurnos, partilhando o mesmo turno, podem possuir periodicidades distintas. Os contentores diurnos podem ser por isso incluídos num grupo de contentores diurnos de recolha fundamentalmente diária ou num grupo de contentores diurnos de recolha fundamentalmente alternada. Dentro de cada um destes grupos existem contentores com outras periodicidades diferentes da diária ou alternada que, consoante localização, foram atribuídos a um dos subgrupos diário ou alternado;
- Os contentores do actual circuito 16, que apesar de serem diurnos não se podem incluir nos contentores acima indicados por representarem um elevado número de contentores de recolha porta-a-porta, com periodicidade de recolha de dois dias por semana, frequência que dificultava a sua optimização em conjunto com os restantes contentores diurnos.

IV.3. Proposta de indicadores de gestão ambiental para a avaliação do sistema de recolha de RSU

Como referido no capítulo da revisão bibliográfica, os indicadores ambientais podem ser divididos nas três categorias que têm vindo a conseguir uma grande aceitação: os Indicadores de Desempenho da Gestão (IDG), os Indicadores de Estado do Ambiente (IEA) e

os Indicadores de Desempenho Operacional (IDO). Esses indicadores foram estruturados, segundo a recomendação da comissão de 10 de Julho de 2003 relativa a orientações para a implementação do EMAS, de forma a englobar e descrever os vários tipos de indicadores que permitem analisar a eficiência de um SGA na melhoria do desempenho ambiental de uma organização.

Tendo por base esta estrutura conceptual de indicadores, bem como as características de um sistema de recolha de RSU indiferenciados e o tipo de informação disponível, quer a de natureza documental, quer a que resulta das monitorizações ou da optimização dos circuitos, desenvolveu-se uma proposta de indicadores, que se apresentam no Quadro IV.2, Quadro IV.3 e Quadro IV.4, úteis para a análise e avaliação do desempenho dos sistemas de recolha de RSU indiferenciados ou do desempenho de um SGA aplicado a essa actividade.

Na primeira coluna dos quadros indica-se o tipo de indicador. Designou-se por indicadores tipo A, os indicadores que permitem analisar o desempenho do SGA, sendo apresentados segundo a recomendação da Comissão Europeia. Quando o indicador tem como objectivo a análise e avaliação dos circuitos de recolha de RSU indiferenciados, indica-se como sendo do tipo B. Quando ambas as análises se podem fazer a partir do indicador, o indicador é referenciado por AB. Os indicadores do tipo B podem ser especificados para analisar cada circuito individualmente ou para analisar um conjunto de circuitos. Para além disso, os quadros apresentam, para cada um dos indicadores propostos, a unidade em que se expressa, a definição e a forma como deve ser construído. Na última coluna são também, sempre que necessário, dadas indicações sobre a realidade dos circuitos de RSU indiferenciados de Almada.

As médias, quando se dizem ponderadas, indicam que a sua construção teve em conta o peso do circuito em termos de periodicidade. Isto é, um circuito diário terá o peso do seu valor por inteiro no cálculo da média enquanto um que se faça alternadamente apenas terá metade do peso do seu valor.

Quadro IV.2. Proposta para Indicadores de Desempenho da Gestão

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/cálculo
A. Execução de políticas e programas	1. Objectivos e metas ambientais para a recolha	% Objectivos e metas atingidos	Número de objectivos e metas para a recolha atingidos durante o ano / número de objectivos e metas para a recolha estabelecidos para o ano x 100
A.Desempenho financeiro	2. Poupança anual de combustível	€/ano	Valor monetário de combustível (Gasóleo Galp) utilizado o ano anterior – valor monetário de combustível utilizado no ano em análise. Calculado segundo o valor 1,221€/l correspondente a 24-9-2008 e que inclui o desconto de 5 cêntimos por litro dado à CMA relativamente ao valor de mercado.
A.Desempenho financeiro	3. Poupança anual na manutenção das viaturas de recolha	€/ano	Valor monetário da manutenção para o ano anterior – valor monetário da manutenção para este ano

(continuação)

Quadro IV.2. Proposta para Indicadores de Desempenho da Gestão (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/cálculo
A.Participação dos trabalhadores	4. Formação	h/indivíduo.ano	Número de horas de formação recebida por cada colaborador da recolha de RSU por ano
A.Participação dos trabalhadores	5. Formação em ambiente	h/indivíduo.ano	Número de horas de formação recebida por cada colaborador da recolha de RSU em ambiente por ano
A.Participação dos trabalhadores	6. Peso da formação em ambiente sobre formação total	% de formação total em ambiente	Número de horas totais recebidas de formação em ambiente por ano / número de horas totais recebidas de formação por ano x 100
A.Participação dos trabalhadores	7. Reuniões com os trabalhadores	nº reuniões /ano	Número de reuniões com os trabalhadores ou encarregados da recolha durante o ano
A.Participação dos trabalhadores	8. Sugestões recebidas dos trabalhadores	nº de sugestões / trabalhador.ano	Número de sugestões relativas a melhoria da recolha recebidas dos trabalhadores durante o ano / número de trabalhadores nesse ano
A. Participação dos trabalhadores	9. Sugestões dos trabalhadores que foram aplicadas	nº de sugestões aplicadas /ano	Número de sugestões relativas a melhoria da recolha recebidas dos trabalhadores aplicadas por ano
A.Administração e planeamento	10. Aspectos e impactes ambientais directos e indirectos das decisões de planeamento	nº de desenvolvimentos políticos tendo por base uma análise de impacte ambiental /ano	Número de políticas implementadas que tiveram por base aspectos e impactes ambientais do SGA /ano
A.Compras e investimentos	11. Desempenho ambiental dos fornecedores e contratantes	%	Fornecedores e contratantes por ano com políticas ou sistemas de gestão / fornecedores e contratantes totais x100
A.Compras e investimentos	12. Investimentos em projectos no domínio da melhoria do desempenho ambiental	€ /ano	€ investidos anualmente em projectos de melhoria do desempenho ambiental da recolha
A.Saúde e Segurança no Local de Trabalho	13. Acidentes de trabalho por ano	nº acidentes/ano	Número de acidentes ocorridos durante o exercício da função de recolha de RSU indiferenciados para o ano
A.Saúde e Segurança no Local de Trabalho	14. Acidentes de trabalho por trabalhador da recolha de RSU indiferenciados	nºacidentes/ trabalhador.ano	Número de acidentes ocorridos ao longo do ano por trabalhador da recolha de RSU indiferenciados
A.Saúde e Segurança no Local de Trabalho	15. Dias perdidos por acidente de trabalho	nº dias perdidos/ano	Número anual total de dias de baixa resultantes de acidentes de trabalho na recolha de RSU indiferenciados
A.Saúde e Segurança no Local de Trabalho	16. Capacidade imobilizadora (gravidade) dos acidentes de trabalho	nº dias/acidente	Nº anual de dias perdidos por acidente de trabalho/nº de acidentes de trabalho na recolha de RSU indiferenciados no ano considerado
A.Saúde e Segurança no Local de Trabalho	17. Evolução do número de acidentes de trabalho por ano	nº acidentes/ano	Evolução positiva ou negativa do número de acidentes de trabalho para o ano considerado, relativamente ao anterior. Número de acidentes de trabalho este ano - número de acidentes de trabalho no ano anterior
A.Relações com a Comunidade	18. Pedidos de intervenção da população para a recolha de resíduos	nº pedidos/ ano	Número anual de pedidos de intervenção à CMA relativas à necessidade de proceder à recolha.
A.Relações com a Comunidade	19. Pedidos de intervenção da população	nº pedidos/ano	Número anual de pedidos de intervenção apresentados pelos munícipes à CMA respeitante à recolha de RSU. Inclui pedidos de recolha de RSU, reparação e substituição de contentores, danos em contentores e roubos de contentores.
A.Relações com a Comunidade	20. Evolução no número de pedidos de intervenção	nº pedidos/ano	Evolução positiva ou negativa do número de pedidos de intervenção para o ano considerado, relativamente ao anterior. Número de pedidos de intervenção recebidos este ano - número de pedidos de intervenção recebidos o ano passado

Os principais impactes ambientais resultantes da actividade de recolha de resíduos traduzem-se na emissão de poluentes para a atmosfera, provocada pelos gases de escape

das viaturas de recolha, no ruído provocado pela sua circulação e pelos sistemas de esvaziamento dos contentores e na eventual contaminação dos solos provocada pelas emissões dos gases de escape, perdas de óleos e combustível, ou escorrências dos líquidos contidos nos RSU, caso as caixas das viaturas não estejam perfeitamente estanques, e o consumo de combustível que representa a depleção de um recurso fóssil não renovável, uma vez que estas viaturas consomem gasóleo.

Deste conjunto de impactes, os mais importantes e exequíveis de obter são os relativos à qualidade do ar, cujos parâmetros podem ser obtidos nas estações de medição da qualidade do ar, e os relativos ao ruído, principalmente o causado durante os turnos de recolha nocturna e que podem ser analisados através da carta de ruído do Concelho.

Deste modo, propõem-se, como indicadores de estado do ambiente, os indicadores da qualidade do ar apresentados no Quadro IV.3. Para o caso concreto em análise, Concelho de Almada, utilizaram-se os valores das concentrações médias horárias dos poluentes medidos na Estação de Qualidade do Ar do Laranjeiro, no ano de 2005 (APA, 2008). O índice de qualidade do ar refere-se ao número de dias de qualidade “Mau”, que se verificaram, em 2005, na área Metropolitana de Lisboa (APA, 2008).

De forma a ter a noção mais adequada do estado do ambiente ao nível do ruído, e tendo em conta a importância do campo espacial na propagação do ruído e sensibilidade de uma área, a melhor fonte de informação traduz-se na carta do ruído que pode ser obtida na Ecoteca de Almada localizada na Casa Municipal do Ambiente. Note-se que os resultados representados pela carta de ruído diurno não terão a mesma relevância que os apresentados pela carta de ruído nocturno, devido não só à quantidade de veículos em circulação durante o dia, que acabam por diluir a importância da frota de recolha como, também, ao aumento de sensibilidade das áreas sensíveis e mistas a partir do horário que define o período nocturno na carta e que se representa por limites mais restritivos de ruído.

Quadro IV.3. Proposta para Indicadores de Estado do Ambiente

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/Cálculo
A.Ar	1. Concentração média horária de Ozono	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média dos valores horários para o ano de referência. Dados da estação de qualidade inserida na área servida pelo sistema de recolha de RSU em análise (APA, 2008)
A.Ar	2. Concentração média horária de Partículas <10 μm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	3. Concentração média horária de Dióxido de Azoto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	4. Concentração média horária de Dióxido de Enxofre	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	5. Concentração média horária de Monóxido de Azoto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	6. Concentração média horária de Benzeno	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	7. Concentração média horária de Partículas <2.5 μm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	8. Concentração média horária de Óxidos de Azoto	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	9. Concentração média horária de Monóxido de Carbono	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A.Ar	10. Nº de dias com índice de qualidade do ar Mau	nº de dias/ano	Nº de dias no ano em que a qualidade do ar foi classificada como má (APA, 2008)
A.Ruído	11. Carta Municipal de Ruído (LAeq)	dB(A)	Modelo de previsão do ruído. Os resultados são apresentados na escala logarítmica decibel, corrigida com um filtro de ponderação de característica A, e no formato da carta do Concelho com as várias intensidades a cores diferentes nos locais onde se verificam no ano.

No Quadro IV.4 apresenta-se a proposta de indicadores de desempenho operacional. Os indicadores de distância e tempo, apresentados no quadro para a totalidade dos circuitos de RSU indiferenciados, podem ser calculados para um circuito ou para um conjunto de circuitos, em função dos objectivos da análise.

Quadro IV.4. Proposta para Indicadores de Desempenho Operacional

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/Cálculo
AB.Serviços	1. Quantidade de RSU recolhida por ano	t/ano	Quantidade total de RSU indiferenciados recolhidos pelo sistema de recolha de RSU para o ano considerado.
AB.Serviços	2. Quantidade de RSU recolhida por dia para o conjunto de circuitos	t/dia	Quantidade média ponderada de RSU recolhida por dia de recolha nos circuitos considerados.
AB.Serviços	3. População servida pelo sistema de recolha de RSU	nº habitantes	Número de habitantes estimado pelo INE para o ano em estudo.
B.	4. Capitação de RSU	kg/hab.dia	Quantidade de RSU produzido por habitante e por dia. Dados fornecidos pela Amarsul.
B.	5. Capitação de RSU indiferenciados	kg/hab.dia	Quantidade de RSU indiferenciado produzido por habitante e por dia. Quantidade de RSU recolhida por ano /População servida pelo sistema de recolha de RSU
AB. Instalação	6. Capacidade de contentorização instalada	m ³	Somatório da capacidade de todos os contentores do sistema
AB.Instalação	7. Número total de contentores no conjunto de circuitos	nº contentores	Número total de contentores no conjunto de circuitos
B.	8. Número médio de contentores recolhidos por dia no conjunto de circuitos	nº contentores/dia	Número médio ponderado de contentores recolhidos por dia no conjunto de circuitos
AB.Funcionamento	9. Viaturas de recolha ao serviço por dia de recolha	nº viaturas/dia	Número de viaturas utilizadas diariamente na recolha. Corresponde ao número de viaturas necessárias por dia tendo em conta os circuitos a efectuar, e não ao número ou média de viaturas utilizadas por dias, que pode variar, de dia para dia, devido a avarias. No verão existe um circuito extra implicando mais uma equipa e uma viatura.
A. Funcionamento	10. Utilização anual das viaturas de recolha	h / viatura.ano	Média do número de horas de funcionamento de cada viatura por ano.
B.	11. Equipas de recolha ao serviço por dia de recolha	nº equipas/dia	Número de equipas necessárias na recolha diária. Novamente é um número deduzido a partir do número de circuitos existentes, e não um número, ou média, que se refere às equipas utilizadas por dia, e que pode variar. No verão existe um circuito extra implicando mais uma equipa e uma viatura.
B.	12. Quantidade de RSU média recolhida num dia por homem ao serviço nos circuitos	t/ homem.dia	Quantidade média ponderada de RSU recolhida por dia de recolha nos circuitos considerados/ homens atribuídos por dia aos circuitos considerados
A.Manutenção	13. Horas de manutenção anual por viatura de recolha	h/ viatura.ano	Média do número de horas de manutenção de cada viatura por ano
A.Transportes	14. Consumo anual de combustível pela frota de recolha	l/ano	Consumo de combustível pela frota de recolha de RSU para o ano considerado
A.Transportes	15. Consumo anual de combustível por tonelada de RSU recolhida	l/t	Consumo de combustível pela frota de recolha de RSU para o ano considerado / toneladas RSU recolhidas nesse ano
A.Transportes	16. Percentagem de utilização anual de bio-combustíveis	%	Litros de bio-combustíveis consumidos no ano pela frota de recolha de RSU / litros de combustíveis fósseis consumidos por ano pela frota recolha de RSU x 100
A.Transportes	17. Consumo médio diário de combustível pela frota para o conjunto dos circuitos	l/dia	Consumo médio ponderado de combustível por dia nos circuitos (Consumo de combustível por km percorrido x distância média percorrida por dia de recolha)
AB.Transportes	18. Consumo de combustível por 100 quilómetros percorridos	l/100 km	Quantidade total de combustível consumido pela frota de recolha / distância total percorrida x100
A.Transportes	19. Percentagem de utilização viaturas de baixas emissões na frota de recolha de RSU	%	km percorridos em viaturas de baixas emissões / km percorridos pelo total da frota de x 100

(continua)

Quadro IV.4. Proposta para Indicadores de Desempenho Operacional (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/Cálculo
AB. Transportes	20. Idade média das viaturas de frota de recolha de RSU	anos	Média da idade das viaturas de recolha de RSU
AB. Transportes	21. Distância percorrida pela frota no ano considerado	km/ano	Distância total percorrida pela frota de recolha de RSU por ano. Dados da CMA
A. Transportes/Emissões	22. Gases com efeito de estufa emitidos anualmente para a atmosfera pela frota de veículos de recolha	t(CO ₂)/ano	Toneladas de gases com efeito de estufa emitidas anualmente para a atmosfera pela frota de veículos de recolha quantificados em CO ₂ equivalentes
A. Transportes/Emissões	23. Outros poluentes emitidos anualmente para a atmosfera pela frota de veículos de recolha	t / ano	Toneladas de gases poluentes emitidas anualmente para a atmosfera pela frota de veículos de recolha. Média de emissões por viatura para uma hora (funcionamento habitual) x número de horas de funcionamento de uma viatura x viaturas operacionais por dia
A. Emissões/Manutenção	24. Quantidade total de resíduos perigosos produzidos por ano	kg/ano	Quantidade de resíduos perigosos produzidos por ano relacionados com a manutenção das viaturas
A. Emissões/Manutenção	25. Quantidade de resíduos perigosos produzidos por ano por viatura	kg/viatura.ano	Quantidade de resíduos perigosos produzidos por ano relacionados com a manutenção das viaturas / viaturas de recolha
A. Emissões/Manutenção	26. Quantidade de resíduos perigosos produzidos por ano por tonelada de RSU recolhida	kg/ t.ano	Quantidade de resíduos perigosos produzidos por ano relacionados com a manutenção das viaturas / toneladas de RSU recolhidas nesse ano
A. Emissões/Manutenção	27. Águas residuais produzidas por ano	m ³ / ano	Águas residuais produzidas por ano relacionadas com a manutenção das viaturas
A. Emissões/Manutenção	28. Concentração de substâncias nas águas residuais produzidas	kg/m ³	Quantidade média de substâncias contaminantes por metro cúbico de água residual
A. Emissões/Manutenção	29. Águas residuais produzidas por ano por viatura	m ³ /viatura.ano	Águas residuais produzidas por ano relacionadas com a manutenção das viaturas/ viaturas de recolha
A. Emissões/Manutenção	30. Águas residuais produzidas por ano por tonelada de RSU recolhida	m ³ / t.ano	Águas residuais produzidas por ano relacionadas com a manutenção das viaturas/ toneladas de RSU recolhidas nesse ano
A. Emissões	31. Quantidade de RSU produzidos pela actividade de recolha por ano	t/ano	Quantidade anual de RSU produzidos pelos serviços e actividades de recolha de RSU indiferenciados
A. Emissões/Manutenção	32. Taxa de deposição selectiva dos RSU produzidos pela actividade de recolha por ano	%	Quantidade de RSU produzidos pelos serviços e actividades de recolha de RSU depositados selectivamente por ano e enviados para a reciclagem / RSU totais produzidos pelos serviços e actividades de recolha de RSU para o ano x 100
A. Emissões	33. Número de queixas de ruído resultantes da actividade da recolha	nº/ano	Número de queixas de ruído resultantes da actividade da recolha de RSU para o ano considerado
B.	34. Número médio de fretes (voltas) totais por dia	nº/dia	Número médio ponderado de fretes feitos por dia no conjunto de todos os circuitos.
B.	35. Número médio de fretes por circuito e por dia	nº/circuito.dia	Número médio ponderado de fretes feitos por dia em cada circuito
B.	36. Distância total média percorrida por dia de recolha para o conjunto dos circuitos	km/dia	Distância média ponderada, percorrida por dia para o conjunto dos circuitos.
B.	37. Distância efectiva de recolha para o conjunto de circuitos	km/dia	Distância média ponderada, para o conjunto dos circuitos, calculada a partir do primeiro ponto de recolha do circuito até ao último, subtraindo o tempo em viagens para descarregar e pausas por dia
B.	38. Distância de transporte	km/dia	Distância percorrida pela viatura no conjunto dos circuitos desde o último ponto de recolha, quando o veículo atingiu a sua capacidade máxima ou quando finalizou o circuito, até ao local de deposição da sua carga. Se o circuito tiver mais do que uma volta, inclui também a distância de regresso ao 1º ponto do 2º frete e a distância de regresso ao local de deposição e assim sucessivamente.
B.	39. Distância no local de deposição por frete	km/frete	Distância média assumida percorrida durante a permanência da viatura no local de deposição cada vez que o visita, desde que se pesa à entrada da instalação até que sai
B.	40. Distância no local de deposição	km/dia	Soma das distâncias no local de deposição (Σ (quilómetros à saída do local de deposição – quilómetros à chegada ao local de deposição)), de todos os fretes efectuados para o conjunto dos circuitos.

(continua)

Quadro IV.4. Proposta para Indicadores de Desempenho Operacional (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/Cálculo
B.	41. Distância de e para a garagem	km/dia	Soma das distâncias médias ponderadas para o conjunto dos circuitos que decorrem da garagem até ao 1º ponto de recolha, mais as distâncias do local de deposição (do último frete) até à garagem.
B.	42. Distância não produtiva	km/dia	Distância percorrida no conjunto dos circuitos durante pausas ou não relacionada com a actividade de recolha (distância até local de almoço, distância percorrida para trocar uma viatura em estado inadequado para prosseguir a recolha, etc.). Não foi considerada nos resultados dos circuitos pós-otimizados.
B.	43. Quantidade de resíduos removidos por quilómetro total para os circuitos	kg/km	Quantidade média ponderada de resíduos recolhidos para o conjunto de circuitos/ distância total média ponderada para o conjunto de circuitos
B.	44. Quantidade de resíduos removidos por quilómetro efectivo para os circuitos	kg/km	Quantidade média ponderada de resíduos recolhidos para o conjunto de circuitos/ distância efectiva média ponderada para o conjunto de circuitos
B.	45. Coeficiente de concentração do conjunto de circuitos	%	Distância efectiva de recolha para o conjunto de circuitos / Distância média total percorrida para o conjunto de circuitos x 100
B.	46. Tempo médio diário de recolha para o conjunto dos circuitos	h/dia	Tempo médio ponderado gasto na recolha do conjunto de circuitos de RSU por dia de recolha
B.	47. Tempo médio de recolha por contentor individual	s	Tempo desde que a viatura pára num ponto de recolha com contentores individuais até que arranca para o próximo ponto de recolha, a dividir pelo número de contentores existentes no ponto de recolha
B.	48. Tempo médio de recolha por contentor colectivo	s	Tempo desde que a viatura pára num ponto de recolha com contentores colectivos até que arranca para o próximo ponto de recolha, a dividir pelo número de contentores existentes no ponto de recolha
B.	49. Tempo médio efectivo de recolha para o conjunto dos circuitos	h/dia	Tempo médio ponderado do conjunto dos circuitos calculado a partir do primeiro ponto de recolha de um circuito até ao último, subtraindo o tempo em viagens para descarregar e pausas
B.	50. Tempo no local de deposição	min/frete	Tempo médio para o conjunto dos circuitos assumido para a permanência da viatura no local de deposição cada vez que o visita, desde que se pesa à entrada da instalação até que sai (hora de saída do local de deposição – hora de chegada ao local de deposição)
B.	51. Tempo de regresso do local de deposição para o estaleiro	min/circuito	Tempo médio que a viatura demora a regressar do local de deposição, após o último frete, ao estaleiro (garagem)
B.	52. Tempo de transporte	km/dia	Tempo nos circuitos desde o último ponto de recolha, quando o veículo atingiu a sua capacidade máxima ou quando finalizou o circuito, até ao local de deposição da sua carga. Se o circuito tiver mais do que uma volta, incluiu também o tempo de regresso ao 1º ponto do 2º frete e o tempo de regresso ao local de deposição e assim sucessivamente
B.	53. Tempo de e para a garagem	km/dia	Soma dos tempos médios ponderados que decorrem da garagem até ao 1º ponto de recolha, mais os tempos do local de deposição (do último frete) até à garagem
B.	54. Tempo não produtivo	km/dia	Tempo gasto no conjunto dos circuitos durante pausas ou actividades não relacionadas com a recolha ou deslocamento (pausa para almoço, tempo para trocar uma viatura em estado inadequado para prosseguir a recolha, etc.). Para a situação pós optimização utiliza-se a estimativa do programa que inclui pausa para refeição, e preparação para começar e terminar o serviço
B.	55. Quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho total para o conjunto dos circuitos	t/h	Quantidade média ponderada de resíduos recolhidos para o conjunto dos circuitos / Tempo médio total ponderado de trabalho para o conjunto dos circuitos
B.	56. Quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho efectivo para o conjunto dos circuitos	t/h	Quantidade média ponderada de resíduos recolhidos para o conjunto dos circuitos / Tempo médio efectivo ponderado de trabalho para o conjunto dos circuitos

(continua)

Quadro IV.4. Proposta para Indicadores de Desempenho Operacional (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Definição/Cálculo
B.	57. Razão entre o trabalho médio realizado e o horário normal da equipa	-	Razão entre o tempo médio ponderado de trabalho realizado por dia e o horário laboral das equipas de recolha para os circuitos
B.	58. Velocidade média nos circuitos	km/h	Velocidade média ponderada de circulação nos circuitos. Distância média percorrida por dia de recolha para os circuitos/ tempo médio de recolha por dia de recolha nos circuitos
Aspectos Financeiros	59. Custo total para o município resultante da recolha dos RSU indiferenciados	Milhares de €/ano	Despesa total anual para o município da recolha de RSU indiferenciados (composto por vários custos como o custo da manutenção das viaturas, custo resultante do consumo de combustível, custo das equipas, custo dos contentores, custo resultante de multas, etc.)
Aspectos Financeiros	60. Custo por tonelada recolhida	€/t	Custo total anual para o município resultante da recolha dos RSU indiferenciados / tonelada recolhida no ano considerado
Aspectos Financeiros	61. Custo por habitante servido	€/habitante	Custo total anual para o município resultante da recolha dos RSU indiferenciados /habitante servido

V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

V.1. Desenvolvimento e implementação da optimização dos circuitos

V.1.1. Nota prévia

Os únicos circuitos que foi possível optimizar, durante o estágio realizado na DSCMA, foram o antigo circuito 16 e os restantes oito circuitos diurnos, pelo que a descrição do desenvolvimento e implementação do processo de optimização e o cálculo dos indicadores de desempenho são relativos a estes circuitos.

As obras do metro a Sul do Tejo e o prazo limite para a realização da dissertação, impediram que se efectuasse qualquer tratamento aos circuitos nocturnos. Mesmo o projecto para os diurnos sofreu um retrocesso de última hora, pelo que os resultados obtidos não vão corresponder aos circuitos finais, quando estes forem finalmente implementados. Não foram igualmente contemplados os circuitos de contentores enterrados e de moloks.

Na apresentação dos indicadores, fez-se uma comparação entre os circuitos pré e pós optimização, somando ponderadamente os resultados dos circuitos diurnos com os dos circuitos nocturnos mas sem estes últimos sofrerem alterações entre os períodos. Além do mais, quase todos os indicadores excluem a recolha de contentores enterrados ou moloks.

Após a definição dos diferentes grupos de contentores a analisar, a criação dos circuitos obedeceu a um esquema metodológico muito geral, designadamente:

1. Análise do problema e preparação da solução;
2. Criação computacional dos circuitos optimizados;
3. Edição do conjunto de circuitos por parte do analista;
4. Edição dos percursos de cada circuito por parte do analista;
5. Verificação dos circuitos no terreno.

Caso os resultados, após verificação, não sejam satisfatórios e quando se verificarem grandes alterações ao sistema de recolha, retoma-se o esquema a partir do ponto inicial repetindo-se as fases ciclicamente as vezes que forem necessárias.

Devido à falta de tempo, nos resultados finais, apenas o percurso de dois dos sub-circuitos criados para o circuito 16 foram editados de modo a reduzir os seus tempos de conclusão. Os resultados para o circuito 16 referem-se a todos os sub-circuitos, mas com um deles possuindo percursos ainda por editar.

Já os circuitos diurnos construídos foram comprometidos devido à alteração do tipo de recolha na Quinta do Alemão (Charneca de Caparica), que passou de recolha por pontos

para porta-a-porta. Para além do aumento do número de contentores no sistema, verificou-se ainda o estabelecimento de um novo objectivo, que passava pela integração da recolha dos contentores enterrados nestes circuitos. Deste modo, os resultados que se apresentam nesta dissertação correspondem aos últimos obtidos, depois da edição dos circuitos por parte do analista, numa fase anterior ao surgimento destes novos factores.

A próxima fase do projecto de optimização corresponderá à edição do restante sub-circuito do antigo circuito 16. Até ao final do ano, graças às análises levadas a cabo para os circuitos diurnos, espera-se ter testado no terreno e implementado todos os circuitos diurnos, incluindo o 16 e os dos contentores enterrados que geograficamente se cruzem com estes circuitos.

V.1.2. Circuito 16

A fase inicial da optimização correspondeu aos contentores do circuito 16 (Figura V.1), opção tomada devido ao facto deste ser mais pequeno, o que tornaria mais rápida uma verificação no terreno.

Como já foi mencionado, os contentores do circuito 16 são recolhidos 2 vezes por semana, mas o circuito não se faz da mesma forma todos os dias. O que acontece é que o trajecto que é percorrido às segundas e quintas não corresponde ao que é percorrido às terças e sextas, nem ao que é percorrido às quartas e sábados. Na prática, pode afirmar-se que o circuito 16 está dividido em três sub-circuitos diferentes, que têm em comum a periodicidade bissemanal e o tipo de recolha, porta-a-porta, mas que se diferenciam nas zonas abrangidas e nos dias em que a recolha é efectuada.

De modo a testar os pressupostos relativos ao tempo de recolha para os contentores porta-a-porta, para os tempos de deslocamento nos circuitos e para os tempos perdidos em viragens à esquerda, direita, inversão do sentido ou seguindo em frente num cruzamento, criaram-se rotas no Fleetrout para os contentores que pertenciam a cada um dos sub-circuitos realizados pelo circuito 16. Para os contentores de recolha porta-a-porta, tinha-se assumido um tempo de recolha por contentor de 20 segundos, metade do assumido para a recolha de contentores colectivos). De notar que inicialmente foram respeitados os dias de recolha dos contentores de cada sub-circuito, não se atribuindo, para já, contentores do circuito 16 a sub-circuitos diferentes dos originais.

A vista (*view*) faz parte da organização do programa Arcview, sobre o qual o Fleetroute está construído, como sendo uma parte do projecto (um projecto pode ter várias vistas) que apresenta a localização geográfica e as representações gráficas dos temas que

forem inseridos (*e.g.* tema veículos, tema contentores, tema infra-estruturas, tema vias e tudo o mais que se considerar relevante e tenha representação gráfica).

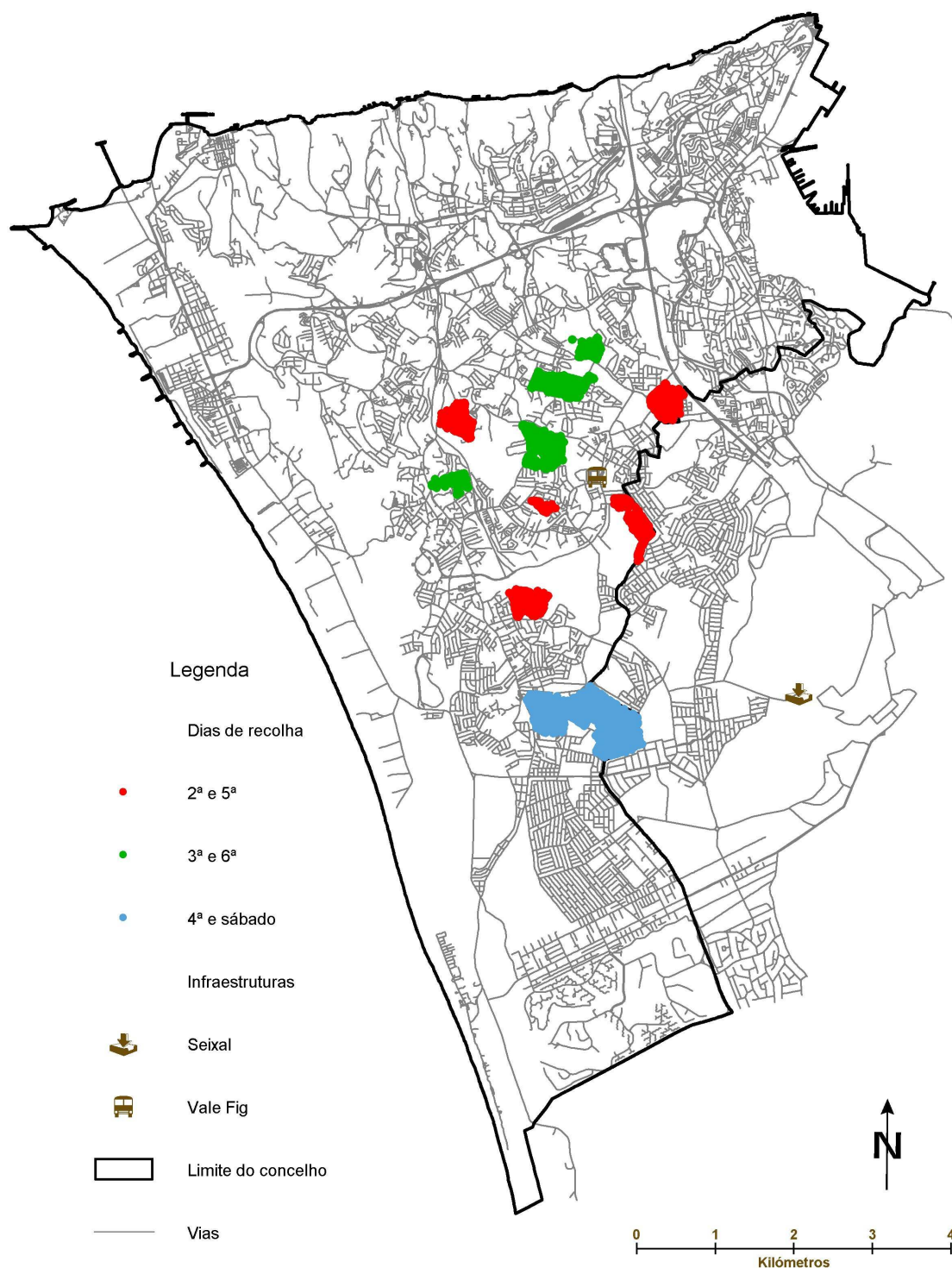


Figura V.1. Antigo circuito 16

As vistas, mesmo as pertencentes a um mesmo projecto, são todas independentes umas das outras, pelo que ter várias vistas permite apresentar várias alternativas para um mesmo problema. No entanto há que ter cuidado quando se modificam as características de

temas, visto que qualquer alteração ao ficheiro do tema altera as características deste em qualquer vista. É sensato utilizar cópias diferentes dos ficheiros em cada vista. O problema é que a localização do ponto representativo do veículo é um factor que influencia o resultado da criação de rotas, actuando ao nível do percurso escolhido e do tempo final do circuito. Não pretende representar nem o local de onde parte o veículo nem onde termina a sua rota, e pode ser deslocado à vontade pelo mapa dando origem muitas vezes a diferentes rotas. O manual do *software* refere-se a este ponto como o ponto “semente da rota”, a partir do qual a rota começa a crescer e a expandir-se, e aconselha mesmo a experimentar mover o ponto para várias localizações e avaliar os resultados (Civix, 2006).

Uma questão importante a discutir prende-se com o método de atribuição de uma viatura a uma rota do Fleetroute. Aquando da criação das rotas, selecciona-se o veículo que se pretende para recolher os contentores seleccionados. Esse veículo encontra-se caracterizado na tabela de veículos e representado como um ponto na vista. Assim, sempre que se criaram rotas no Fleetroute, experimentaram-se vários locais como “sementes das rotas”, optando-se pelos que resultam em menores tempos de conclusão do circuito. De qualquer maneira, não se pode ignorar que este pormenor introduz maior aleatoriedade e incerteza nos resultados que se obtêm nas rotas, sendo mais difícil garantir que a rota que se obteve no final é a mais rápida e adequada, devido à infinidade de possíveis localizações para a colocação dos veículos, embora em PORVs ocorrer sempre essa incerteza.

Após a criação do sub-circuito referente à recolha às segundas e quintas-feiras, e análise do trajecto a percorrer pelas equipas, decidiu-se testar o circuito no campo com uma equipa de recolha. Era relevante o levantamento de alguma informação e a confirmação de pressupostos como os contentores recolhidos e a sua capacidade, o tempo de recolha médio por contentor, os tempos de viragens, o tempo para percorrer certos troços, a quantidade total recolhida, o número de fretes, o tempo em aterro ou em viagem para aterro e as dificuldades encontradas.

A equipa que acompanhava a equipa de recolha era composta por três pessoas, uma encarregue de contar e localizar os contentores recolhidos, uma encarregue de orientar a equipa de recolha segundo os percursos sugeridos pelo Fleetroute e de anotar incoerências nas vias, tempos e outras informações úteis acerca do circuito, e um motorista. A pessoa encarregue de orientar a equipa acompanhava o motorista da recolha dentro da viatura de recolha, enquanto a pessoa encarregue de anotar os contentores seguia com um outro motorista numa viatura da CMA. Essa equipa estava munida com dois mapas com os resultados do Fleetroute para o circuito, nos quais eram feitas as correcções.

Os dias de verificação eram escolhidos com o cuidado de tentar garantir a sua representatividade de um dia normal de recolha, evitando-se a proximidade a feriados.

No primeiro dia de verificação a 11 de Fevereiro de 2008, uma segunda-feira, notou-se imediatamente algumas falhas essencialmente na rede viária e nos contentores esperados no circuito. Algumas das ruas que o percurso modelado assumia como transitáveis, na realidade não o eram, os tempos de viragem assumidos não estavam completamente de acordo com os que se verificavam, havia vários contentores no modelo que na realidade não existiam ou não estavam disponíveis para recolha, e ainda alguns contentores não estavam representados no modelo, obrigando a desvios para a sua recolha.

Para além disso, a falta de familiaridade da equipa de recolha com o novo percurso obtido por modelação atrasava a sua prestação e tornou todo o processo mais lento que o esperado, ao mesmo tempo que as opções de percurso do Fleetroute nem sempre eram compreendidas como boas, e bem recebidas pela equipa. O conjunto de todos estes factores resultou em que o tempo previsto durante a modelação fosse largamente ultrapassado, mas importantes dados foram recolhidos durante a saída de campo.

Antes de se proceder à correcção da informação na plataforma SIG, repetiu-se o percurso na quinta-feira de 14 de Fevereiro de 2008 para ter em conta as diferenças na quantidade de RSU e no número de contentores presentes na rua em ambos os dias de recolha para o sub-circuito.

As alterações necessárias obrigaram à actualização da base de dados SIG da CMA, disponível através do Geomedia, e a nova exportação da rede viária actualizada. Recalcularam-se circuitos optimizados, desta vez para todos os sub-circuitos do circuito 16 e admitindo-se novos tempos de viragens e um tempo de recolha por contentor individual de 20 segundos e por contentor colectivo de 35 segundos. Os tempos de recolha assumidos para cada contentor não só reflectem os valores médios verificados no terreno, como vão de encontro a valores de recolha obtidos num estudo efectuado pela câmara municipal (CMA, 1997).

O pressuposto inicial de que o tempo de recolha de contentores individuais devia ser metade do tempo de recolha de contentores colectivos foi abandonado, não só devido aos tempos verificados, mas também porque se observou que muitos dos contentores na recolha porta-a-porta eram basculados individualmente e não em conjunto com outro contentor. Essa ideia era o fundamento do pressuposto, visto que o tempo que a viatura demora a bascular um contentor individual ou um colectivo é exactamente o mesmo, sendo a grande diferença o facto de que o elevador da viatura tem espaço para bascular dois contentores individuais em simultâneo e que basta um cantoneiro para manipular cada contentor individual.

O tempo de aceleração dos veículos, tempo que estes demoram dos 0 km/h aos 50 km/h, estabeleceu-se nos 6 segundos inicialmente definidos.

Novamente optou-se por verificar no terreno os novos circuitos, que agora sugeriam todos tempos para cada sub-circuito superiores ao horário regular das equipas de recolha. Desta vez, para a rota das segundas e quintas-feiras, procedeu-se à análise dos percursos sugeridos pelo Fleetroute e à alteração de alguns troços. Da verificação no terreno dos percursos sugeridos pelo *software* de optimização, observou-se que novamente existiam incongruências ao nível da rede viária nos sub-circuitos ainda não testados no terreno, os sub-circuitos de terça e sexta-feira e de quarta-feira e sábado.

Também nestes sub-circuitos o número e localização dos contentores divergiam no modelo relativamente à realidade. Isto explica-se principalmente devido ao facto de, na recolha porta-a-porta, os utentes apenas colocarem os contentores na rua quando estes se encontram cheios, mas também devido à sazonalidade existente em termos de população residente no Concelho, que aumenta muito no Verão.

Para além disso, algumas das zonas analisadas correspondiam a zonas de habitação relativamente recentes, e que na altura do levantamento das informações relativas aos contentores, em 2002, ainda não estavam completamente habitadas e, como tal, ainda não tinham recebido todos os contentores. Por alguma razão, na altura em que as habitações receberam os contentores, estes não foram acrescentados na base de dados do SIG do município.

Os tempos de conclusão verificados, como previsto pelo Fleetroute, foram sempre superiores ao horário das equipas de recolha (entre as 7:00h e as 14:00h). Isto não significa necessariamente que o trajecto escolhido pelas equipas de recolha seja melhor que aquele proposto pelo Fleetroute. Um factor que certamente pesa no aumento dos tempos de recolha verificados é que a recolha dos contentores assumida pelo Fleetroute, e executada durante as verificações no campo, inclui sempre a elevação dos contentores pelo sistema de descarga da viatura. Isto não acontece muitas das vezes em que a recolha não é acompanhada. Vários contentores que não se encontram completamente cheios são descarregados à mão o que acaba por acelerar bastante o processo da recolha, apesar de representar maiores riscos à integridade física dos cantoneiros.

Outro factor, que beneficia os trajectos escolhidos pelas equipas de recolha relativamente aos sugeridos pelo Fleetroute, diz respeito a algumas infracções ao código da estrada, particularmente o desrespeito de certos sinais de sentido único ou sentido proibido, que permitem poupar muito do tempo perdido a percorrer um caminho alternativo até aos contentores dessa rua.

Uma razão que contribui para um maior tempo no Fleetroute, tem a ver com o facto dos contentores que se localizam numa esquina ou próximos de duas ruas, se poderem encontrar atribuídos no SIG a uma rua sem mais contentores, o que obriga a percorrer toda

a rua desnecessariamente e apenas no seu fim inverter a marcha, isto porque o Fleetroute apenas pode inverter o sentido num nó, quando podiam estar atribuídos à outra rua que pode ser de passagem obrigatória. Isso pode ser facilmente resolvido se o contentor for atribuído à outra rua da esquina representando muito melhor a realidade da recolha.

Ainda assim pode-se questionar algumas das opções que o Fleetroute tomava e que tinham de ser corrigidas com uma análise cuidada. Podia ocorrer, por exemplo, que o Fleetroute decidisse dar uma volta completa a uma praça de dois sentidos para recolher um contentor que estivesse num dos lados, quando poderia simplesmente efectuar a recolha no sentido inverso evitando ter de dar a volta completa e poupando tempo. Este tipo de situações são abordadas quando se analisa o percurso dos circuitos mas por vezes só são óbvias durante a verificação no terreno.

De qualquer modo, depois da verificação no terreno, procedeu-se às alterações necessárias na base de dados do Geomedia e nas tabelas do Fleetroute. Os tempos de penalização de viragens em intersecções, considerados mais adequados, ficaram definidos como os seguintes valores:

- Em frente – 2 segundos
- Viragem à direita – 4 segundos
- Viragem à esquerda – 8 segundos
- Inversão do sentido de marcha – 30 segundos
- Inversão do sentido de marcha em becos – 30 segundos

Estes valores representam o tempo acrescentado ao tempo de conclusão do circuito cada vez que o Fleetroute optar por uma destas manobras. A verificação destes tempos, e de outros, como tempos de recolha de contentores e de aceleração das viaturas, representaram uma contribuição para todos os circuitos além do 16, visto serem tempos comuns a todos.

Após esta análise, começou-se a ponderar uma outra alteração ao circuito 16 que passava pela alteração das zonas que constituíam cada sub-circuito. Actualmente, a cada dia da semana correspondiam diferentes zonas do circuito 16, no entanto adivinhava-se, tendo em conta a dispersão das várias zonas pertencentes a um mesmo dia, bem como a sua dimensão, que o Fleetroute sugerisse uma organização diferente da actual caso os sub-circuitos fossem criados de raiz para os contentores pertencentes ao circuito 16.

Essa diferente organização condensaria os circuitos para certas zonas que, apesar de serem próximas, eram actualmente servidas em dias diferentes, e equilibraria os circuitos efectuados nos diferentes dias, que em termos de dimensões e número de contentores a recolher divergiam significativamente, o que resultava em dias mais exigentes que outros, em termos de carga horária.

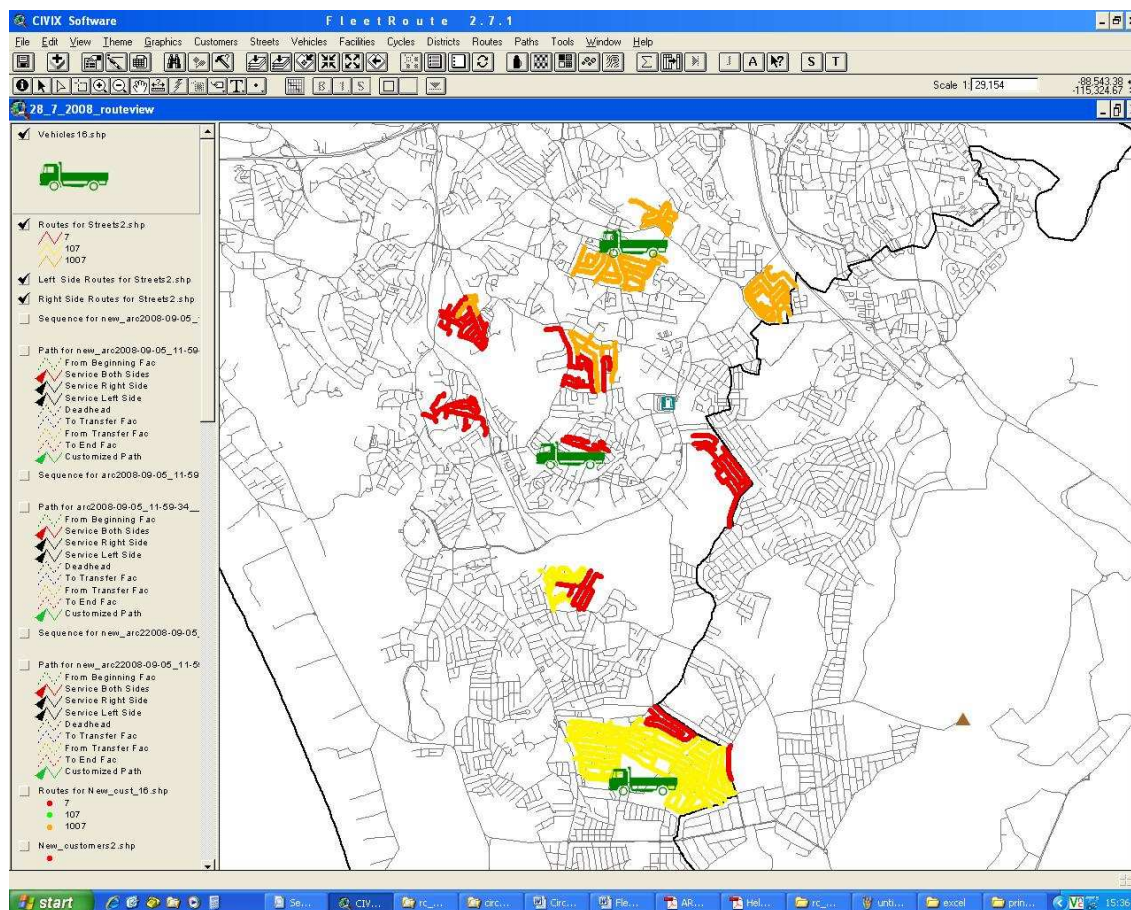


Figura V.3. Circuito 16 antes da edição de circuitos

O passo seguinte tinha como objectivo uma edição, por parte dos analistas, dos circuitos obtidos, de modo a torná-los mais fáceis de implementar e compreender pela população servida e equipas de recolha e, se possível, equilibrar a sua carga horária ou reduzir ainda mais os seus tempos de conclusão.

Para tal, recorreu-se a uma funcionalidade do Fleetroute que permite a edição dos circuitos. Através dessa funcionalidade, atribuíram-se ruas, e os respectivos contentores, a um veículo pretendido, quando isso condensasse a rota ou equilibrasse os tempos de conclusão. Este processo permite às equipas de recolha memorizar mais facilmente as zonas abrangidas pelo seu circuito e evita que as populações confundam os dias para a recolha nos seus bairros devido a hipotéticas diferenças de dias de uma rua para a outra do bairro. Para além disso tem o potencial de reduzir ainda mais os tempos totais de conclusão dos circuitos.

Os resultados finais desta análise foram bastante positivos e os circuitos finais estão representados na Figura V.4. Este procedimento, levado a cabo pelos analistas, comprova que os circuitos fornecidos pelo Fleetroute, tal como acontece para os outros algoritmos que resolvem problemas de optimização de rotas, não têm de corresponder à melhor solução

[illegible]

No Anexo 4 apresenta-se um pormenor da zona esquerda deste circuito em que se vê claramente as setas numeradas, representando o trajecto a seguir pela viatura durante a recolha nessa zona.

Quadro V.1. Tempos totais do circuito 16, pré e pós edição

87

De notar que para implementar ou mesmo testar estes novos circuitos é necessário avisar previamente a população abrangida por um sistema de recolha porta-a-porta, sobre a alteração ao dia em que se faz a recolha.

Alguns indicadores operacionais obtidos para o circuito 16, após a optimização, são apresentados no Quadro V.2.

Quadro V.2. Alguns Indicadores de Desempenho Operacional Pós Optimização para o Circuito 16

Indicador	Unidades	Valor
Capacidade de contentorização instalada	m ³	311,28
Distância média percorrida por dia de recolha para o circuito	km/dia	30,89
Número médio de fretes (voltas) totais por dia	nº/dia	0,86
Tempo total médio diário de recolha para o circuito	h/dia	6,47
Velocidade média no circuito	km/h	4,77
Quantidade de RSU recolhida por dia de recolha para o circuito	t/dia	4,44
Razão entre o trabalho médio de um dia de recolha no circuito e o horário normal da equipa	-	1,08
Número total de contentores no circuito (em 2008)	nº contentores	2.160
Número médio de contentores recolhidos por dia no circuito (em 2008)	nº contentores/dia	617,14

V.1.3. Circuitos diurnos

Terminada a modelação e análise do antigo circuito 16, o passo seguinte foi a optimização dos restantes circuitos diurnos.

Uma primeira análise obrigatória ao considerar os contentores destes circuitos foi a questão de como lidar com a diferença de periodicidades. Surgiram então duas alternativas. Ou se criavam dois grupos de circuitos a partir dos dois grupos de contentores existentes, os circuitos de recolha diária (também denominados de circuitos diários) e os de recolha alternada (ou circuitos alternados), e se lidava separadamente com eles, ou se criava um único grupo de circuitos mistos, isto é, que podiam incluir simultaneamente contentores de recolha diária e alternada, criando-se circuitos que tinham em conta a posição dos contentores de ambas as periodicidades.

Decidiu-se avançar com a análise das duas alternativas com a ajuda do mapa do anexo 5, relativo à periodicidade de recolha dos contentores dos circuitos diurnos, e posteriormente compará-las em termos de facilidade de implementação e ganhos no tempo.

No caso da alternativa que dividia os grupos dos circuitos diários e alternados começou-se por agrupar os contentores segundo a sua periodicidade. Assim, os contentores

com periodicidade de recolha diária (7 dias) foram agrupados com os contentores de periodicidade semanal de 6 dias, e os contentores de periodicidade semanal de 4 dias, que na realidade correspondia a uma periodicidade alternada, foram agrupados com os contentores de periodicidade de recolha semanal de 3, 2 e 1 dias. Não existem contentores diurnos cuja periodicidade de recolha seja de 5 vezes por semana.

Os contentores de periodicidade de recolha semanal de 3, 2 e 1 dias foram agrupados com os de recolha alternada por serem em pequeno número e por uma questão de proximidade geográfica. O seu número reduzido não justificava um novo circuito efectuado apenas nos dias da semana correspondentes à sua periodicidade, com a excepção dos contentores do circuito 16, e a sua proximidade aos contentores de recolha alternada resultava numa reduzida diferença, quer em termos de tempo quer de distância, entre um dia em que fosse preciso recolher todos os contentores no grupo dos alternados e um dia em que não fosse preciso recolher contentores com periodicidade inferior à alternada.

O impacto de agrupar os contentores diurnos de recolha de 2 vezes por semana com os contentores do circuito 16, apesar da periodicidade ser equivalente, seria muito negativo devido à distribuição desses contentores ser muito diferente da distribuição dos contentores do circuito 16, o que significa uma maior distância a percorrer e um maior tempo total dos circuitos.

Os contentores de recolha hexasemanal foram agrupados com os contentores diários pois, apesar de geograficamente se localizarem tão próximos dos contentores diários como dos alternados, colocá-los em circuitos alternados significaria ter de sair com o veículo de 2 a 3 vezes adicionais por semana para recolher unicamente estes contentores.

Após a separação em dois grupos, calcularam-se à vez os circuitos diários e alternados, atribuindo aos contentores um número de veículos total que não ultrapassava o número que até então servia os circuitos diários. Oito veículos seriam os necessários para cumprir os circuitos sem optimização logo não faria sentido esperar resultados piores do processo de optimização que os verificados até aí. Sendo um dos mais importantes objectivos do projecto reduzir o número de veículos utilizados, se o inverso acontecesse poderia ser o suficiente para invalidar o projecto.

O cálculo dos circuitos diários foi bastante directo.

Ao conjunto dos contentores diários começou-se por atribuir um número de veículos menor que oito. Depois de se analisar os tempos dos circuitos resultantes, retirou-se um veículo de cada vez até o número de veículos não permitir recolher os contentores dentro do horário pretendido para cada circuito. Nessa altura voltou-se a calcular os circuitos para o número de veículos anterior, definindo assim em 4 o número de veículos e de circuitos de recolha diurnos diários e obtendo os circuitos da Figura V.6.

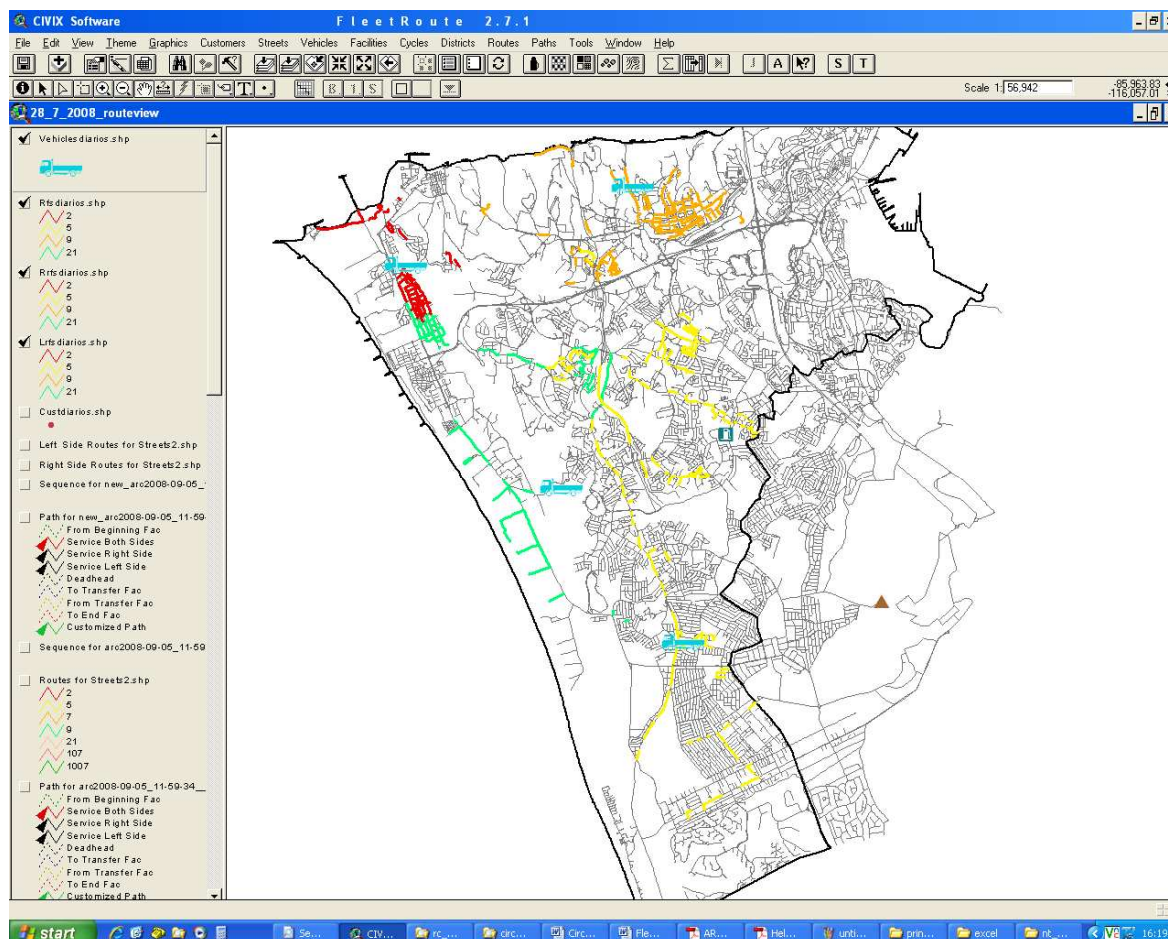


Figura V.6. Circuitos diários otimizados

O cálculo dos circuitos alternados foi menos directo. Como já tinha sido mencionado, o Fleetroute não entra em consideração com a periodicidade dos contentores na construção dos circuitos. Isto significa que ao atribuirmos um número de veículos aos contentores alternados, o Fleetroute calcula os circuitos como se os contentores fossem todos recolhidos no mesmo dia. Isto na realidade não interessa ao município pois significaria que num dia se recolheriam todos os contentores alternados e no dia seguinte não haveria recolha de contentores alternados. O ideal é num dia recolher-se metade dos contentores alternados e no outro dia recolher-se a outra metade. A maneira de simular isso no Fleetroute é, como foi feito no circuito 16, clonar os veículos que se pretendem que recolham os contentores alternados, neste caso para o dobro. Assim, com apenas 3 veículos foi possível simular a recolha de todos os contentores alternados em seis circuitos diferentes, completando três circuitos por cada dia da semana (Figura V.7). O número de veículos necessários determinou-se, como no caso dos circuitos diários, por tentativa e erro.

Os contentores com uma periodicidade de recolha inferior à alternada que fizessem parte destes circuitos não são sempre recolhidos, o que na prática terá um efeito positivo, apesar de pouco expressivo, no sentido de reduzir o percurso e o tempo dos circuitos para esses dias.

alternados pudesse ser comparável com a recolha de um contentor diário. Caso contrário, o tempo de recolha de dois contentores alternados que estivessem em troços semelhantes, mas não o mesmo, seria sempre superior à recolha de um contentor diário num desses troços. Não sendo isto possível, e também devido a dificuldades impostas por esta estratégia relacionadas com a definição dos percursos seguidos em diferentes dias da semana, cedo se colocou de parte este método e procurou-se abordar o problema de uma outra perspectiva.

Neste outro método, começou-se por definir o número inicial de veículos a utilizar. O número escolhido foi sete, pois foi esse o número de veículos que se determinou que seria necessário para servir os contentores utilizando a abordagem que separava o cálculo dos circuitos diários dos alternados. Se com esse número de veículos não fosse possível utilizar este método respeitando o horário laboral, então não faria muito sentido continuar a análise. Se, por outro lado, o número de veículos após estarem criados os circuitos fosse considerado adequado, deixando ainda uma margem temporal aceitável, então experimentar-se-ia a possibilidade de servir todos os contentores com um número menor de veículos cumprindo ainda o horário de trabalho das equipas.

Em seguida, aproveitou-se a divisão dos contentores em diários e alternados da abordagem anterior, para se calcular sete circuitos para servir os contentores diários. Após isso, os mesmos sete veículos utilizados nos contentores diários foram duplicados, e os 14 veículos resultantes serviram para criar 14 circuitos alternados temporalmente equivalentes. Neste momento, os contentores diurnos ou pertenciam a um dos 7 circuitos de recolha diária ou a um dos 14 circuitos de recolha alternada. Por fim, a cada circuito diário, associaram-se os dois circuitos alternados que aparentavam estar mais próximos.

O resultado final traduziu-se em circuitos que durante a semana tinham não só contentores que eram servidos todos os dias (circuitos diários) como também contentores cujo serviço alternava (entre os dois circuitos alternados associados).

A forma encontrada para no Fleetroute associar os circuitos e simular a alternância entre um circuito alternado e o outro, passou por criar à vez dois circuitos. O primeiro circuito criado incluía os contentores pertencentes ao circuito diário e os contentores pertencentes a um dos circuitos alternados. O outro circuito criado incluía os mesmos contentores diários e os contentores alternados pertencentes ao circuito que restava. O veículo utilizado para criar estes circuitos era o mesmo que foi utilizado para criar o circuito diário inicial.

Importa explicar, no entanto, que o Fleetroute apenas consegue criar um circuito para contentores que pertençam ao mesmo tema, o que não acontecia devido à inicial separação dos contentores em grupos de contentores alternados e contentores diários. A junção dos contentores de temas diferentes num tema comum deve-se por um lado à

possibilidade de distinguir os contentores que pertencem a diferentes circuitos criados graças a um campo da tabela dos contentores, e por outro ao uso da função “merge” do Arcview, que junta os objectos de um tema com os objectos de outro, resultando num novo tema com o conjunto dos objectos (Figura V.8).

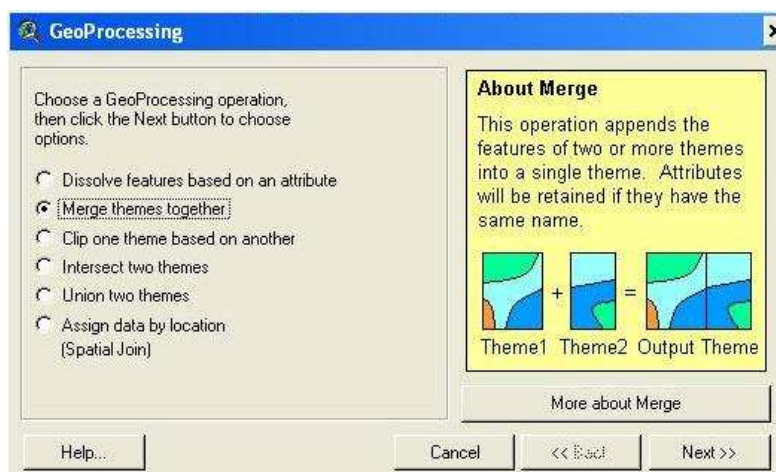


Figura V.8. Função Merge do ArcGis

O resultado final, depois de criados os circuitos, pode dizer-se semelhante a 7 circuitos com aspecto de molécula de água, isto é, um circuito composto por uma parte diária maior que se repete sempre ao longo da semana e duas partes alternadas que se servem alternadamente de dia para dia. Rigorosamente existem 14 circuitos servidos por apenas 7 veículos por dia, numa recolha em que os circuitos servidos alternam de dia para dia (Figura V.9 e Figura V.10).

Apesar da construção dos circuitos por este método ter em conta a localização dos circuitos alternados relativamente aos diários, isso acontece apenas quando o analista escolhe os circuitos alternados a associar ao diário e quando o Fleetroute calcula os circuitos finais resultantes dessa associação. Isto é, o SIG em si só otimiza a proximidade entre contentores de diferentes periodicidades já ao nível do circuito em forma de molécula de água, o que não é o ideal. Para além do mais as escolhas de associação de circuitos do analista têm um grande peso no resultado final e podem não ser as mais acertadas, visto haver circuitos que parecem estar à mesma distância e na verdade poderem não estar.

Assim pensou-se num terceiro método para tentar resolver este problema.

Este método demonstrou ser o mais eficaz dos três métodos que pretendiam conjugar circuitos diários e circuitos alternados. Apesar de ter sido o último a ser explorado é possivelmente o mais simples dos métodos pensados para resolver este problema.

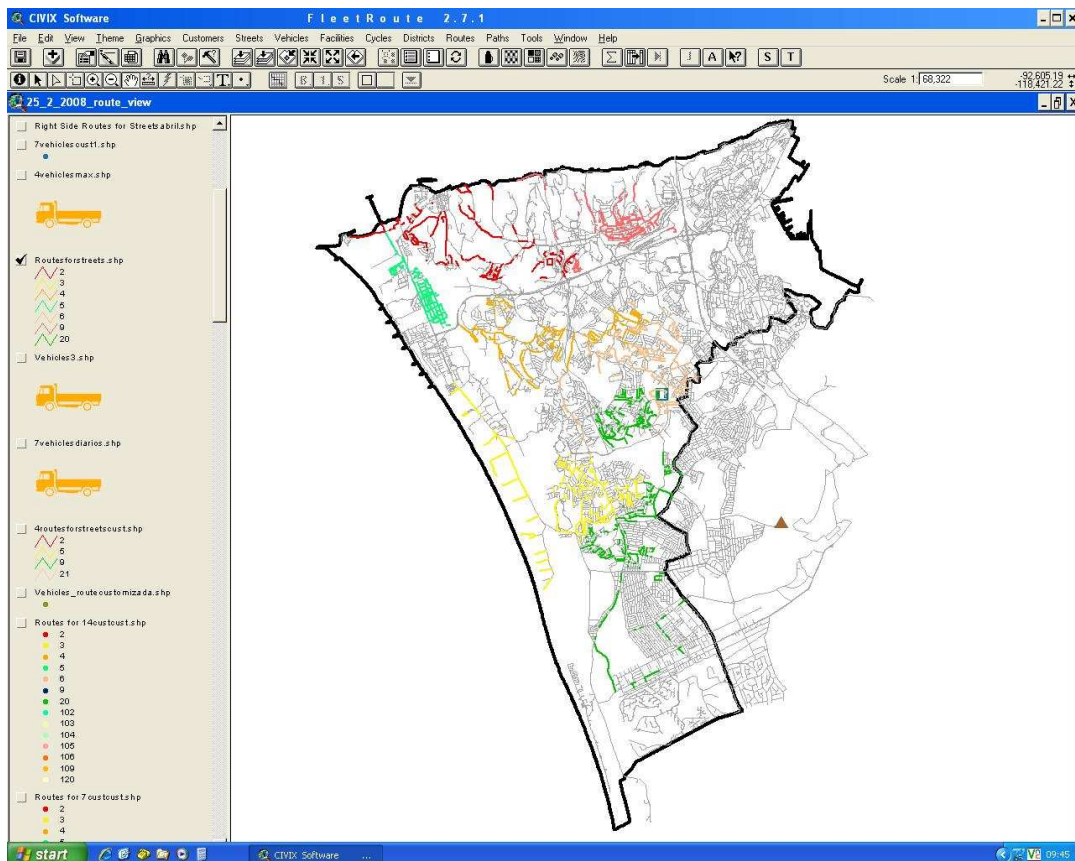


Figura V.9. Método de otimização nº2 dos circuitos diurnos para um dia hipotético A (recolha de metade dos contentores alternados)

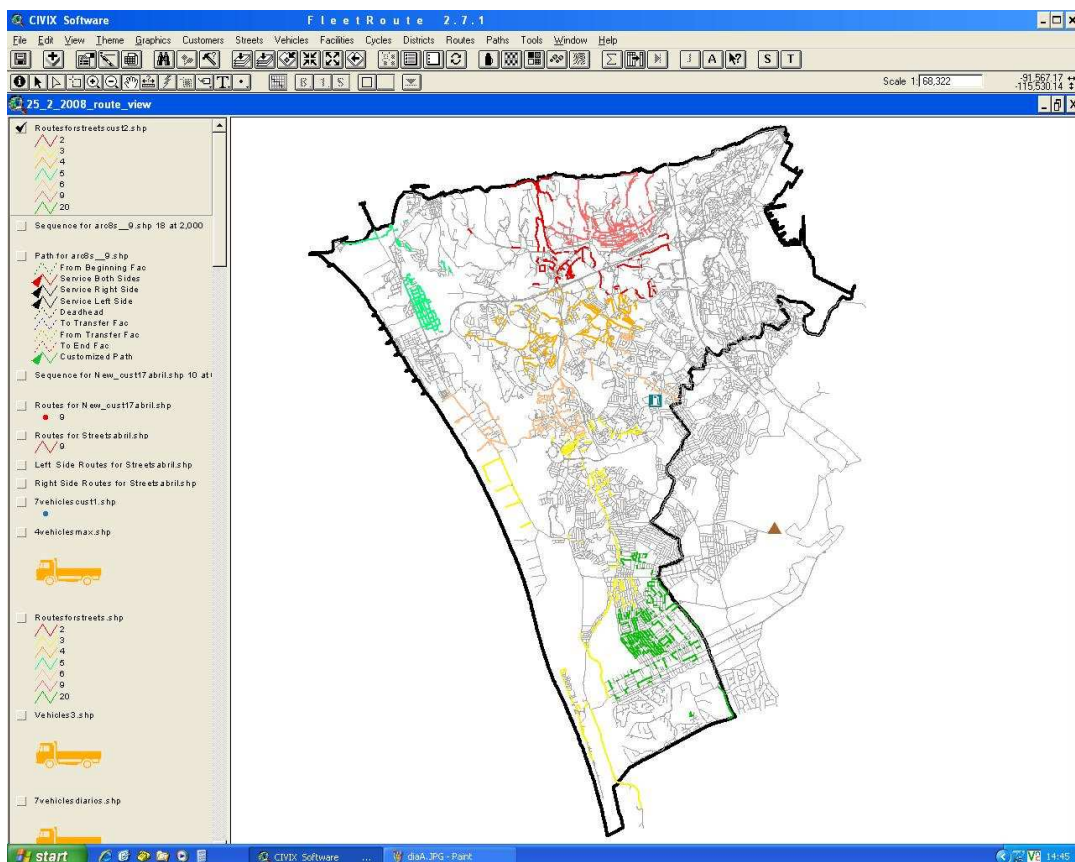


Figura V.10. Método de otimização nº2 dos circuitos diurnos para um dia hipotético B (recolha da outra metade dos contentores alternados)

Depois de calculados os circuitos segundo a alternativa inicial, que dividia o grupo dos circuitos diários do grupo dos circuitos alternados, passou-se a ter 10 circuitos totais, 4 feitos diariamente e 6 de maneira alternada. No total faziam-se 7 circuitos por dia, tendo os circuitos sido calculados de uma maneira em que a posição dos contentores diários não influenciava a recolha dos alternados nem o inverso.

De maneira a que os circuitos tivessem em conta as posições de ambos os tipos de contentores, bastava calcular 7 circuitos para dois dias diferentes, um dia que incluía os contentores diários e os pertencentes a três circuitos alternados, e outro dia que incluía os contentores diários e os pertencentes aos restantes três circuitos alternados.

A diferença deste método para os outros é que após o agrupamento dos contentores, calculavam-se os 7 circuitos sem considerar quais eram diários e quais eram alternados. Num dos dias cumprir-se-iam 7 circuitos e no outro dia outros 7 que podiam ser completamente diferentes. Apesar dos contentores diários se repetirem, como a posição dos contentores alternados dependia do dia, e agora a sua posição influenciava a recolha dos contentores diários, não havia quaisquer garantias que os circuitos fossem os mesmos, mesmo para as partes diárias. No entanto os tempos dos circuitos eram equilibrados. Mesmo que um circuito apenas fosse composto por contentores alternados, no dia seguinte os circuitos a cumprir eram diferentes pelo que não existia o risco de o veículo ficar sem contentores para servir de um dia para o outro. Os dias de circuito hipotéticos construídos por este método são os representados na Figura V.11 e na Figura V.12.

Da comparação deste método com o segundo método de combinação de contentores de periodicidades diferentes, concluiu-se que este era mais eficiente em termos de tempo.

Seria de esperar, devido à construção dos circuitos por este método ter em conta a localização dos contentores alternados e diários, que os circuitos fossem mais condensados e que a recolha fosse de um modo geral mais rápida, no entanto isso não se verificou.

O *feedback* do Fleetroute foi mais positivo, em termos de tempo, para a metodologia que desde o início separava os contentores de recolha diária dos de recolha alternada, apesar da diferença ser reduzida. Aliás, os circuitos que separavam a recolha dos contentores alternados dos diários permitiam utilizar apenas 7 veículos para recolher todos os contentores diurnos cumprindo o horário de recolha, ao contrário de alguns circuitos mistos que utilizando 7 veículos ultrapassavam o horário definido para a recolha.

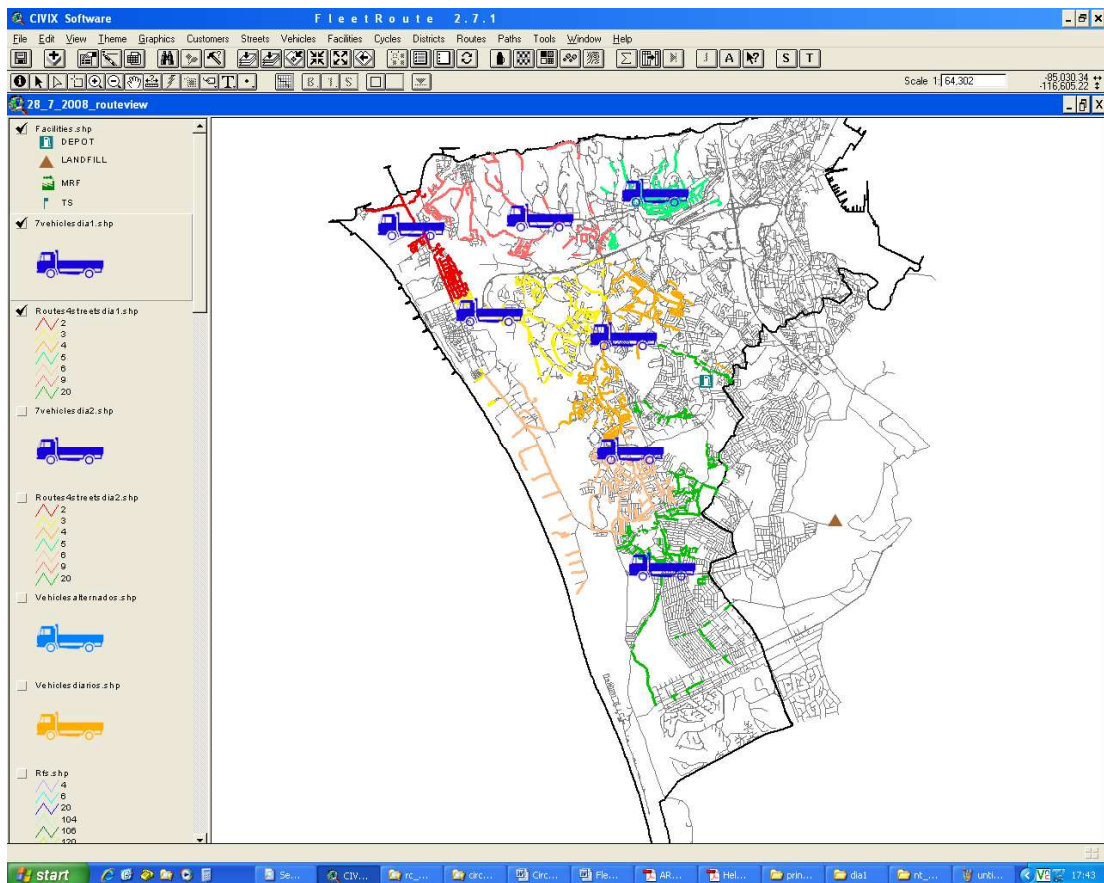


Figura V.11. Método de otimização nº 3 para circuitos diurnos para um dia hipotético A (recolha de metade dos contentores alternados)

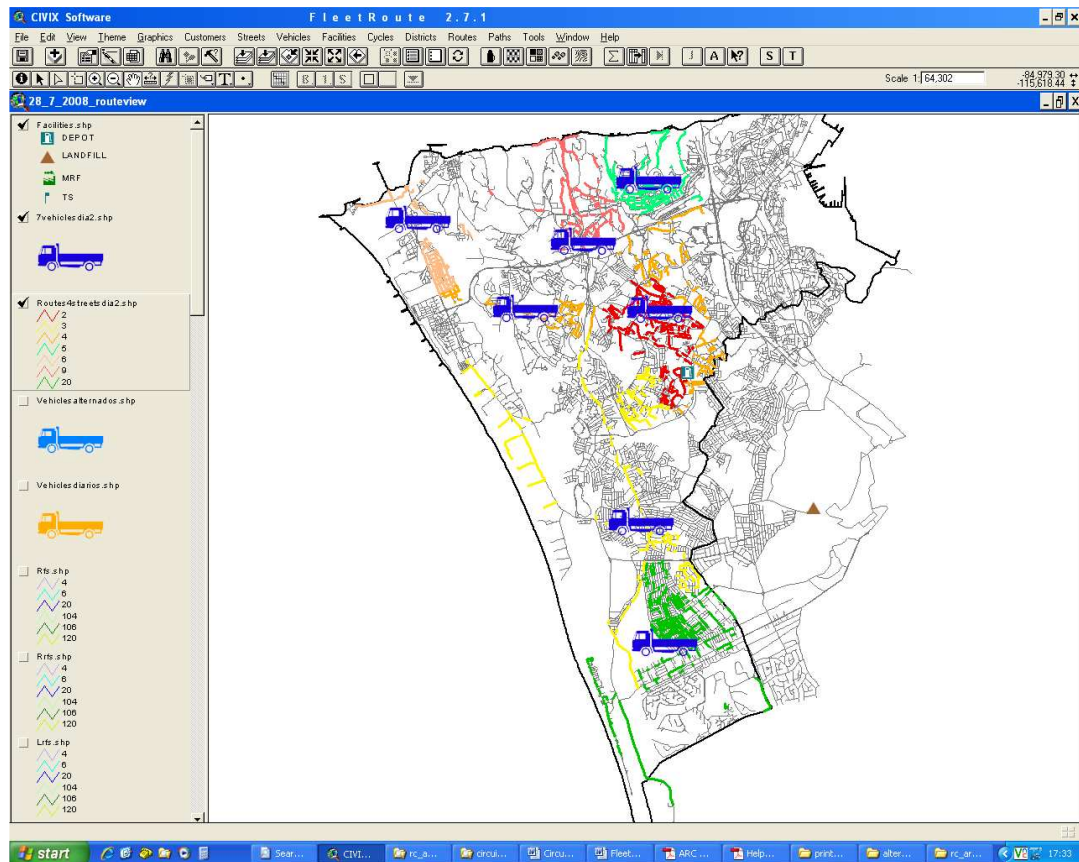


Figura V.12. Método de otimização nº 3 para circuitos diurno para um dia hipotético B (recolha da outra metade dos contentores alternados)

Para além disso, o chefe dos encarregados das equipas de recolha declarou que a alternativa que separava desde o início as duas periodicidades era mais fácil de compreender e de implementar, pois os circuitos englobavam sempre as mesmas áreas e eram completados sempre da mesma maneira segundo esta alternativa, salvo pequenas exceções no caso dos contentores de periodicidade inferior à do circuito global a que pertenciam (diário ou alternado). Isto levou a que a decisão final de implementação, por parte da chefe da DSCMA, fosse favorável à primeira abordagem que separava desde o início circuitos de recolha diária e circuitos de recolha alternada.

Uma das explicações possíveis para o método dos circuitos em forma de molécula de água para os circuitos mistos não ser mais rápido que a abordagem dos circuitos diários e circuitos alternados, terá a ver com o facto de que a periodicidade dos contentores não estar igualmente distribuída pelo Concelho. De facto no sul do Concelho existem muito poucos contentores diários e bastantes alternados, enquanto que no norte do Concelho estes se encontram mais bem distribuídos em termos de número e localização. Essa situação acabou por fazer com que os circuitos criados fossem menos condensados do que inicialmente se esperava e dificultou o trabalho do analista em saber que circuitos agregar. No entanto, isso parece não ser suficiente para explicar porque é que o último método para os circuitos mistos não teve melhores resultados que a abordagem dos circuitos diários e circuitos alternados.

Teoriza-se ou uma fraqueza do Fleetroute no seu cálculo destes circuitos, ou diferenças de resultados tão pequenas que ficavam além do erro que o Fleetroute assume nas suas estimativas e na escolha de um percurso, beneficiando, neste caso, a primeira alternativa. É possível que uma análise dos percursos percorridos nos vários circuitos pudesse reduzir os tempos do último método abaixo dos valores que podiam ser obtidos para os circuitos segundo a primeira abordagem com uma análise semelhante. No entanto, estes resultados indiciam que a diferença seria pequena e, tendo em conta uma maior facilidade em aplicar os circuitos da primeira abordagem, a preferência continuaria a recair sobre a abordagem que separa os contentores diários dos alternados.

Antes da verificação no campo de qualquer circuito, durante uma reunião com o responsável pela coordenação das equipas de recolha, a equipa responsável pela optimização apercebeu-se que os dados apresentados no Geomedia relativos à periodicidade e turno, diurno ou nocturno, em que os contentores eram recolhidos, nem sempre correspondiam à realidade, bem como algumas vias apresentavam limitações à circulação que não estavam evidenciadas nos dados do Geomedia.

Isto obrigou a uma reunião geral com os encarregados da recolha para a qual se construiu, recorrendo ao Geomedia, um mapa do Concelho, dividido em várias cartas à

escala de 1:20000, no qual se apresentavam todos os contentores presentes no Geomedia, distinguidos cromaticamente segundo o turno a que correspondiam e a periodicidade com que eram recolhidos. Para além disso, as estradas para as quais já se dispunha de informações acerca da sua limitação à passagem de veículos de recolha, eram apresentadas a amarelo ou a vermelho, consoante o grau dessas limitações. A intenção era confirmar as informações de que se dispunha e, quando estas não estavam correctas, anotar as diferenças para actualizar a informação do Geomedia.

Este processo obrigou a uma nova conversão e transferência dos dados, agora actualizados no Geomedia, para o Fleetroute e um novo cálculo dos circuitos diurnos, com a excepção do 16 que não apresentava diferenças.

Após a edição dos circuitos diurnos escolheu-se um circuito para testar no terreno. Os resultados infelizmente não foram muito positivos devido à existência ainda de incongruências nas vias e nos contentores entre o SIG e a realidade, e à necessidade de ter em conta uma outra variável: as ruas em que o serviço se tem de cingir ao lado direito da via devido à largura da estrada ou trânsito existente. Para além disso, as sucessivas dificuldades encontradas não ajudavam a que o processo de optimização fosse bem recebido pelas equipas de recolha que testavam os resultados no terreno.

Foi finalmente necessário fazer uma perscrutação dos circuitos diurnos, dos contentores, das vias e das suas características (*e.g.* sentidos únicos, largura, proibição de viragens), seguindo os vários circuitos criados dentro de uma viatura comum e anotando todas as alterações necessárias à informação do SIG. Essa verificação teve início no final do mês de Junho e ocupou uma grande parte do mês de Julho. O motorista que acompanhava o analista tinha, até recentemente, trabalhado como motorista da recolha e complementava a análise com preciosas observações e constatações resultantes da sua experiência.

Sahoo *et al.* (2005) distinguem os circuitos de recolha residenciais dos circuitos de recolha comerciais, com base na argumentação de que no caso dos residenciais o veículo de recolha apenas pode servir o lado da rua no sentido em que transita, tal não acontecendo no caso da recolha comercial, dirigida para centros comerciais, restaurantes e pequenos escritórios. As excepções, segundo os autores, são raras e aplicam-se apenas a alguns becos e ruas de sentido único. A partir dessa argumentação defende que para a resolução de um problema de recolha residencial é necessária uma solução de criação de rotas por proximidade de arcos, em detrimento da solução de criação de rotas por proximidade de pontos aceitável apenas para circuitos comerciais.

Como demonstrado na Figura V.13, a criação de rotas através do ponto mais próximo faz o algoritmo escolher uma sequência segundo a proximidade dos pontos permitindo-lhe recolher os dois lados de uma estrada. Já a criação de rotas através do arco mais próximo

faz o algoritmo escolher uma sequência segundo a proximidade dos arcos, não esquecendo que cada arco tem dois sentidos que, caso possuam contentores, têm de ser servidos (Sahoo *et al.*, 2005).

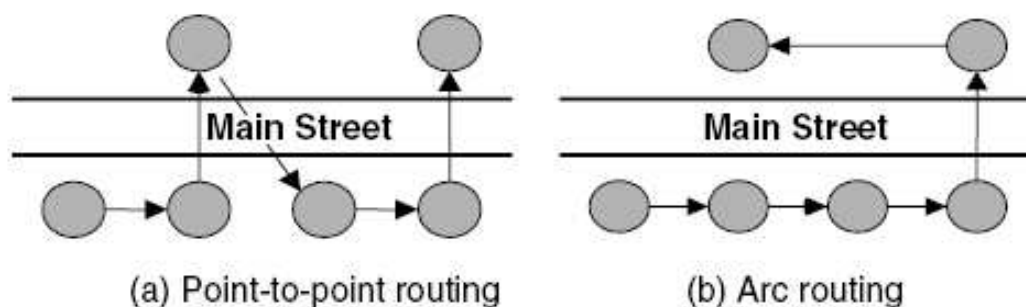


Figura V.13. Recolha por pontos e por arcos (Sahoo *et al.*, 2005)

No entanto, no caso do Concelho de Almada, a restrição de servir apenas o lado da rua correspondente ao sentido em que o veículo transita, não se verifica na grande maioria das ruas pelo que a recolha ponto a ponto continua a ser a mais adequada. Foi, aliás, apenas a partir deste momento que se teve a noção de que alguns troços requeriam que o veículo de recolha os percorresse nos dois sentidos.

Esta questão inicialmente não preocupou a equipa de optimização porque as ruas que claramente necessitariam de duas passagens para recolha dos contentores, encontravam-se assinaladas no Fleetroute como dois arcos paralelos separados, cada um deles com o respectivo sentido único. No entanto, a verificação das vias diurnas no campo permitiu identificar outros troços que, apesar de raros, também necessitavam de ser servidos nos dois sentidos. O Fleetroute, apesar de utilizar a recolha ponto a ponto, prevê que existam ruas que só possam ser servidas no sentido de circulação do veículo. Essas ruas podem ser, e no caso do Concelho foram, assinaladas como ruas em que a recolha tem de cumprir esse requisito, campo que o Fleetroute verifica e ao qual obedece quando corre a modelação de rotas.

De notar que o foco deste estudo de campo foram apenas os circuitos diurnos, porque o circuito 16 já tinha sido analisado durante as verificações no terreno que foram feitas, e as vias afectas aos circuitos nocturnos estavam a ser remodeladas devido à construção do MST e teriam de ser verificadas mais tarde.

Novamente foi necessário inserir os dados recolhidos no Geomedia, exportar os dados para o Fleetroute e trabalhá-los, desta vez tendo em conta as vias que só podem ser recolhidas de um dos lados. Finalmente, já se podia voltar a construir os circuitos diurnos.

Infelizmente uma alteração no modo como se fazia a recolha num bairro de recolha diurna e o estabelecimento de um novo objectivo de tentar integrar a recolha dos

contentores enterrados nos circuitos diurnos, adiou novamente a possibilidade de construir os circuitos diurnos, tornando impossível a sua concretização antes do final do estágio. Assim, os resultados da modelação apresentados para os circuitos diurnos no Quadro V.3 e daqui para a frente, referem-se aos circuitos que foram construídos antes da última verificação da situação no terreno levada a cabo durante o mês de Julho, mas não aos circuitos de recolha diurnos finais que ainda seriam modelados.

Quadro V.3. Alguns Indicadores de Desempenho Operacional Pós Optimização para os Circuitos Diurnos

Indicador	Unidades	Valor
Capacidade de contentorização instalada	m ³	1.573,13
Distância média percorrida por dia de recolha para o conjunto dos circuitos	km/dia	507,1
Número médio de fretes (voltas) totais por dia	nº/dia	11,5
Número médio de fretes por circuito por dia	nº/circuito.dia	1,64
Tempo total médio diário de recolha para o conjunto dos circuitos	h/dia	45,87
Velocidade média nos circuitos	Km/h	11,06
Quantidade de RSU recolhida por dia de recolha para o conjunto de circuitos	t/dia	68,03
Razão entre o trabalho médio de um dia de recolha e o horário normal da equipa	-	0,94
Número total de contentores no conjunto de circuitos (em 2008)	nº contentores	3.156
Número médio de contentores recolhidos por dia no conjunto de circuitos (em 2008)	nº contentores/dia	2.381

V.2. Indicadores de desempenho do EMAS obtidos para o sistema de recolha de RSU

Os resultados que foram possíveis calcular, para os indicadores construídos no capítulo anterior, apresentam-se no Quadro V.4, Quadro V.5 e Quadro V.6, agrupados segundo a classe e o tipo a que pertencem. Os dados que permitiram o cálculo dos indicadores foram sempre disponibilizados pela CMA, excepto nos casos em que a sua proveniência se encontra atribuída a outra fonte na arquitectura do indicador. Relembra-se que as médias, quando se dizem ponderadas, indicam que a sua construção teve em conta o peso do circuito em termos de periodicidade.

Quadro V.4. Indicadores de Desempenho da Gestão

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Pré Optimização		Pós Optimização	
			Valor	Ano	Valor	Ano
A.Desempenho financeiro	1. Poupança anual de combustível	€/ano	-17.661,8	2007	ND	-
A.Relações com a Comunidade	2. Pedidos de intervenção da população para recolha de resíduos	nº pedidos/ano	344	2007	ND	-
A.Relações com a Comunidade	3. Pedidos de intervenção da população	nº pedidos/ano	991	2007	ND	-
A.Relações com a Comunidade	4. Evolução no número de pedidos de intervenção por ano	nº pedidos/ano	287	2007	ND	-

Quadro V.5. Indicadores de Estado do Ambiente

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Valor
A.Ar	1. Concentração média horária de Ozono para 2005	µg/m³	50,07
A.Ar	2. Concentração média horária de Partículas <10 µm para 2005	µg/m³	31,31
A.Ar	3. Concentração média horária de Dióxido de Azoto para 2005	µg/m³	31,13
A.Ar	4. Concentração média horária de Dióxido de Enxofre para 2005	µg/m³	2,28
A.Ar	5. Concentração média horária de Monóxido de Azoto para 2005	µg/m³	14,88
A.Ar	6. Concentração média horária de Benzeno para 2005	µg/m³	0
A.Ar	7. Concentração média horária de Partículas <2.5 µm para 2005	µg/m³	0
A.Ar	8. Concentração média horária de Óxidos de Azoto para 2005	µg/m³	53,95
A.Ar	9. Concentração média horária de Monóxido de Carbono para 2005	µg/m³	321,20
A.Ar	10. Número de dias com índice de qualidade do ar Mau em 2005	Nº de dias/ano	1
A.Ruído	11. Carta Municipal de Ruído para 2004 (LAeq)	dB(A)	Consultar carta municipal de ruído disponível na Ecoteca de Almada

Quadro V.6. Indicadores de Desempenho Operacional

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Pré Optimização		Pós Optimização	
			Valor	Ano	Valor	Ano
AB.Serviços	1. Quantidade de RSU recolhida por ano	t/ano	65.164,94	2006	ND	-
AB.Serviços	2. Quantidade de RSU média recolhida por dia nos circuitos diurnos	t/dia	97,65	2006	72,48	-
AB.Serviços	3. Quantidade de RSU média recolhida por dia nos circuitos diurnos e nocturnos	t/dia	185,82	2006	160,65	-
AB.Serviços	4. População servida pelo sistema de recolha	nº habitantes	166.013	2006	ND	-
B.	5. Capitação de RSU	kg/hab.dia	1,3	2007	ND	-
B.	6. Capitação de RSU indiferenciados	kg/hab.dia	1,08	2006	ND	-
AB.Instalação	7. Capacidade instalada	m³	4.683,2	2006	ND	-
AB.Instalação	8. Número total de contentores	nº contentores	11.522	2006	ND	-
B.	9. Número médio de contentores recolhidos por dia no conjunto de circuitos diurnos	nº contentores/dia	ND	-	2998,14	-
AB.Funcionamento	10. Viaturas de recolha ao serviço por dia de recolha	nº viaturas/dia	20	2008	19	-
B.	11. Equipas de recolha ao serviço por dia de recolha	nº equipas/dia	20	2008	19	-
B.	12. Quantidade de RSU média recolhida num dia por homem ao serviço nos circuitos diurnos	t/homem.dia	3,67	2006/2008	3,07	-
B.	13. Quantidade de RSU média recolhida num dia por homem ao serviço nos circuitos diurnos e nocturnos	t/homem.dia	3,47	2006/2008	3,18	-
AB.Transportes	14. Consumo anual de combustível pela frota de recolha	l/ano	289.998	2007	ND	-
AB.Transportes	15. Consumo anual de combustível pela frota de recolha por tonelada de RSU recolhida	l/t	4,23	2006	ND	-
A.Transportes	16. Consumo anual de bio-combustíveis na frota da recolha	%	0	2007	0	-
A.Transportes	17. Consumo médio diário de combustível pela frota para o conjunto dos circuitos diurnos	l/dia	331,14	2007	357,22	-
A.Transportes	18. Consumo médio diário de combustível pela frota para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos	l/dia	642,58	2007	668,67	-
AB.Transportes	19. Consumo de combustível por 100 quilómetros percorridos	l/100 km	66,4	2007	66,4	2007
A.Transportes	20. Percentagem de utilização viaturas de baixas emissões na frota de recolha de RSU	%	0	2007	0	-
AB.Transportes	21. Idade média das viaturas da frota de recolha de RSU	anos	7,46	2008	ND	-
AB.Transportes	22. Distância percorrida pela frota no ano considerado	km/ano	442.811	2007	ND	-

(continua)

Quadro V.6. Indicadores de Desempenho Operacional (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Pré Optimização		Pós Optimização	
			Valor	Ano	Valor	Ano
B.	23. Número médio de fretes (voltas) totais por dia para os circuitos diurnos	nº/dia	15,06	2006	12,36	-
B.	24. Número médio de fretes (voltas) totais por dia para os circuitos diurnos e nocturnos	nº/dia	26,53	2006	23,83	-
B.	25. Número médio de fretes (voltas) por circuito diurno por dia	nº/circuito.dia	1,70	2006	1,57	-
B.	26. Número médio de fretes (voltas) por circuito diurno e nocturno por dia	nº/circuito.dia	1,49	2006	1,42	-
B.	27. Distância total média percorrida por dia de recolha para o conjunto dos circuitos diurnos	km/dia	498,71	2007	537,99	-
B.	28. Distância total média percorrida por dia de recolha para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos	km/dia	967,75	2007	1007,03	-
B.	29. Distância efectiva de recolha para o conjunto de circuitos diurnos	km/dia	ND	-	339,85	-
B.	30. Distância de transporte no conjunto dos circuitos diurnos	km/dia	ND	-	128,48	-
B.	31. Distância de e para a garagem no conjunto dos circuitos diurnos	km/dia	ND	-	69,55	-
B.	32. Quantidade de resíduos removidos por quilómetro total para os circuitos diurnos	kg/km	195,81	2006/2007	134,72	-
B.	33. Quantidade de resíduos removidos por quilómetro total para os circuitos diurnos e nocturnos	kg/km	192,02	2006/2007	159,53	-
B.	34. Quantidade de resíduos removidos por quilómetro efectivo para os circuitos diurnos	kg/km	ND	-	213,27	-
B.	35. Coeficiente de concentração do conjunto de circuitos diurnos	%	ND	-	63	-
B.	36. Tempo total médio diário de recolha para o conjunto dos circuitos diurnos	h/dia	50,04	2006	52,34	-
B.	37. Tempo total médio diário de recolha para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos	h/dia	94,64	2006	95,76	-
B.	38. Tempo médio de recolha por contentor individual	s	20	2008	20	-
B.	39. Tempo médio de recolha por contentor colectivo	s	35	2008	35	-
B.	40. Tempo médio efectivo de recolha para o conjunto dos circuitos diurnos	h/dia	ND	-	36,82	-
B.	41. Tempo no local de deposição	min/frete	12	2008	12	-
B.	42. Tempo de regresso do local de deposição para o estaleiro	min/circuito	6,28	2008	6,28	-
B.	43. Tempo de transporte no conjunto dos circuitos diurnos	min/dia	ND	-	153,92	-
B.	44. Tempo de e para a garagem no conjunto dos circuitos diurnos	min/dia	ND	-	83,45	-

(continua)

Quadro V.6. Indicadores de Desempenho Operacional (continuação)

Tipo de Indicador	Indicador	Unidades	Pré Optimização		Pós Optimização	
			Valor	Ano	Valor	Ano
B.	45. Tempo não produtivo no conjunto dos circuitos diurnos	min/dia	ND	-	540,62	-
B.	46. Quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho para o conjunto dos circuitos diurnos	t/h	1,95	2006	1,38	-
B.	47. Quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos	t/h	1,97	2006	1,68	-
B.	48. Quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho efectivo para o conjunto dos circuitos diurnos	t/h	ND	-	1,97	-
B.	49. Razão entre o trabalho médio realizado e o horário normal da equipa para o conjunto dos circuitos diurnos	-	0,81	2006	0,95	-
B.	50. Razão entre o trabalho médio realizado e o horário normal da equipa para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos	-	0,76	2006	0,81	-
B.	51. Velocidade média nos circuitos diurnos	km/h	9,97	2006/2007	10,28	-
B.	52. Velocidade média nos circuitos diurnos e nocturnos	km/h	10,23	2006/2007	10,52	-

Os resultados apresentados para a fase de pós optimização ainda não foram nem implementados nem sequer testados no terreno, pelo que correspondem apenas aos resultados do modelo de optimização.

Alguns destes indicadores, particularmente aqueles que permitem a comparação entre os circuitos nas fases de pré optimização e pós optimização, encontram-se calculados tanto para os circuitos diurnos como para os circuitos diurnos e nocturnos em conjunto. Esta análise permite não só caracterizar o sistema de recolha de um modo global, como permite comparar resultados, antes e após o processo de optimização, especificamente para o conjunto de circuitos sujeitos a optimização: os circuitos diurnos. Os circuitos diurnos analisados nesses indicadores incluem o caso particular do circuito 16 mas excluem os contentores moloks, enterrados e caixas, mesmo os que são recolhidos no turno diurno.

Não existem diferenças entre os resultados apresentados para os circuitos nocturnos pré optimizados e pós optimizados devido a estes não terem ainda sido optimizados. Devido a isso, toda a diferença verificada entre os valores de pré e pós optimização apresentados para o conjunto dos circuitos diurnos e nocturnos devem-se aos circuitos diurnos.

Os contentores enterrados, molok e caixas, e respectivos veículos, devido a falta de dados disponíveis, apenas foram considerados para os Indicadores de Desempenho

Operacional seguintes: RSU recolhidos por ano, capacidade instalada, número total de contentores, viaturas de recolha ao serviço por dia de recolha, equipas de recolha ao serviço por dia de recolha, idade média das viaturas da frota de recolha de RSU, tempos no local de deposição e no regresso deste para o estaleiro e Aspectos Financeiros com dados disponíveis, com a excepção do custo anual do consumo de combustíveis. Os circuitos dos contentores enterrados foram ainda considerados nos indicadores relativos ao consumo de combustível, à distância percorrida, consumo de combustível por quilómetro percorrido, ao custo anual do consumo de combustíveis e à poupança anual de combustível.

Os dados que permitiram o cálculo da quantidade e do tempo correspondentes a cada circuito antes da optimização referiam-se à viatura que estava atribuída naquele dia ao circuito e os valores eram recolhidos na altura em que essa viatura era registada e pesada ao entrar no aterro. Assim teve de se ter em atenção dois pontos:

Primeiro foi necessário acrescentar o valor temporal que se admitia existir até acabar o percurso, isto é 12 minutos de tempo em aterro, 6,28 minutos de viagem até ao estaleiro (valor obtido no Fleetroute) e 10 minutos no estaleiro em preparações para acabar o dia de trabalho;

Segundo, acontece por vezes que as viaturas que estão designadas para completar um percurso não o fazem por alguma razão, podendo ser substituídas, ou ajudam a completar um outro circuito próximo depois de terminarem o seu. Estes factores acabam por criar alguma incerteza ao pressuposto de que os dados referentes a uma viatura atribuída a um circuito em determinado dia, são representativos do circuito em si. Além disso, acresce-se a eventualidade, também algo comum, de saírem viaturas de apoio aos circuitos, em certos dias, que participam na recolha sem estarem designadas a nenhum circuito. Para lidar com essa situação, e excluir a grande parte dos dados que possam ser menos fidedignos, decidiu-se aplicar uma média e um desvio padrão aos dados de base das viaturas atribuídas aos circuitos. Em seguida voltou-se a calcular a média mas apenas para os dados que se situavam no intervalo entre o limite superior e inferior do desvio padrão, tanto para a quantidade como simultaneamente para o tempo de conclusão. Esses dados por apresentarem uma menor variação relativamente à média original são mais prováveis de corresponder a valores diários fidedignos do circuito analisado se bem que mesmo assim se deve analisar os resultados obtidos com precaução.

A mesma análise não foi feita para a distância percorrida por circuito, pois, no caso do primeiro ponto, esta foi medida aquando da chegada ao estaleiro no fim do dia de trabalho, e por, no caso do segundo ponto, o número de dados base disponíveis ser muito inferior aos disponíveis para as quantidades e distância.

Apesar de não ser nem um requisito de um SGA nem um indicador fundamental da análise dos circuitos, um indicador que pode ser interessante acrescentar corresponde às horas extra anuais efectuadas para a recolha de RSU indiferenciados, quer devido ao prolongamento do serviço, quer devido a trabalho nos dias de folga. No Quadro IV.4, está presente a razão média entre o trabalho realizado e o horário normal da equipa que permite avaliar a sobrecarga de alguns circuitos, no entanto, sendo esse um valor médio, as horas extra podem dar uma outra noção das irregularidades da recolha e uma ideia dos custos daí resultantes para a recolha. O indicador horas extra anuais resultantes do prolongamento do serviço atingiu em 2007 o valor de 620,6 horas, valor que com a optimização dos circuitos e melhor distribuição do serviço pode ser reduzido. O indicador horas extra devido a trabalho nos dias de folga refere-se a serviço que é cumprido por uma equipa que naquele dia deveria estar de folga. Isso pode acontecer por exemplo quando uma grande produção de resíduos, em determinado dia, obriga a um reforço no número de equipas de recolha, após dias de feriado em que não houve recolha levando ao acumular de muitos resíduos nos contentores, ou quando um membro de uma equipa falta e é necessário cobrir essa falta com um trabalhador em folga. Esse indicador atingiu, em 2007, as 13.784 horas.

Os dados relativos aos acidentes de trabalho que foram possíveis de obter referiam-se a toda a actividade de limpeza pública e não apenas à recolha de RSU indiferenciados, daí não serem apresentados na tabela de indicadores. Esta situação verificou-se para vários indicadores que por isso não foram apresentados. Pode ter interesse, no entanto, analisar a situação geral, em que a recolha de RSU indiferenciados se encontra inserida, observando os indicadores relativos ao conjunto das operações de limpeza pública. Para o caso dos acidentes de trabalho, por exemplo, sabe-se que para o ano de 2007 ocorreram 77 acidentes de trabalho nas actividades de limpeza pública, o que resultou em 2.592 dias de trabalho perdidos. Isto significa que cada acidente de trabalho representou em média 33,66 dias de inactividade por parte do trabalhador. Relativamente a 2006, evidenciou-se um aumento de 17 acidentes de trabalho por ano.

Um outro exemplo é a disponibilidade de um valor relativo aos custos da gestão de resíduos no município de Almada (7.547 milhares de euros para 2005, o que corresponde a 83,03% da despesa total do município em ambiente), mas ausência de um valor para os custos resultantes da recolha de RSU indiferenciados. Para além desse valor geral, é possível calcular alguns dos valores dos indicadores que compõem o custo da recolha, como o custo anual do consumo de combustível (Diesel Galp) para os veículos da recolha (excluindo os que recolhem contentores molok e caixas), que foi de 354.087,6 € para o ano de 2007, calculado ao valor de 1,221€/l correspondente ao preço de mercado em 24-9-2008, menos 5 cêntimos de desconto que a Galp oferece à CMA.

Alguns componentes dos custos da recolha podem, também ser divididos em vários sub-componentes. Por exemplo, o custo derivado dos recursos humanos necessários à recolha é composto por outros indicadores de custo como os salários, subsídios de almoço, seguros, horas extraordinárias, entre outros. Não foram disponibilizados dados suficientes para calcular o custo total derivado dos recursos humanos necessários à recolha, mas os custos que se devem ao pagamento de horas extraordinárias também puderam ser calculados, e para o caso das horas resultantes do prolongamento do serviço corresponderam a 3.371,50€, em 2007, enquanto para o caso das horas resultantes de trabalho em dias de folga corresponderam a 99.677,82 €.

Já no caso dos resíduos produzidos pela manutenção das viaturas, os únicos dados existentes referiam-se a resíduos produzidos pela DTM, divisão responsável pela manutenção de toda a frota da CMA, não discriminando a produção dos resíduos pelas várias viaturas. O total de resíduos perigosos produzidos por toda a actividade da DTM calculou-se em 10.068,16 t.

V.3. Análise dos indicadores de desempenho de um SGA e dos benefícios ambientais e económicos resultantes da optimização dos circuitos

A análise da evolução dos indicadores que foram possíveis obter para preparar a implementação de um SGA, alerta para a importância e urgência de tomar medidas nesse sentido.

Uma poupança anual de combustível negativa significa que mais dinheiro foi gasto em combustível num dado ano que no anterior, considerando uma taxa fixa (Figura V.14). Para além disso, o aumento dos pedidos de intervenção para o ano considerado, assinala um decréscimo da qualidade do serviço que importa reverter (Figura V.15). Até a ausência de tantos dados e, conseqüentemente, de indicadores, atesta ao facto de que, quer o processo de implementação do SGA, quer o registo no EMAS, se encontra estagnado nas instalações de Vale Figueira da CMA. Não é feita a recolha de muita informação que seria requisito de um SGA, e a que existe está dispersa e só raramente organizada em indicadores.

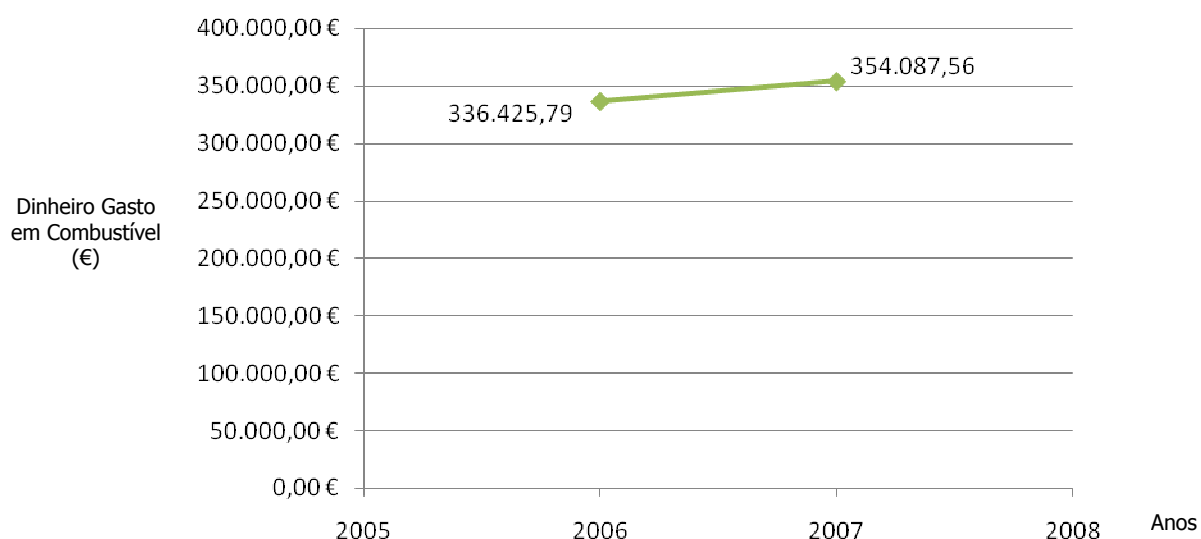


Figura V.14. Evolução do consumo de combustíveis pela frota de recolha

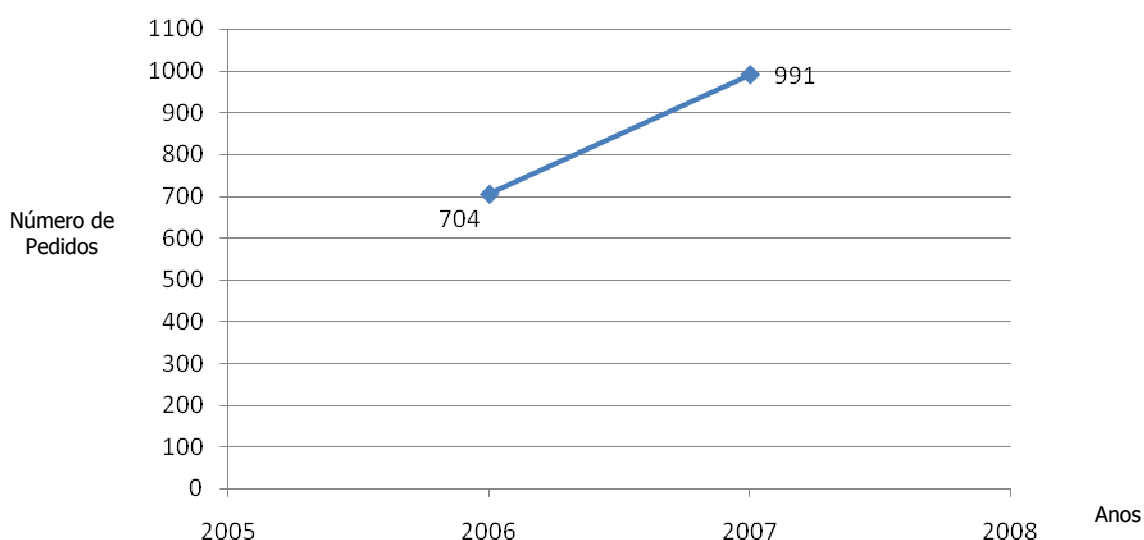


Figura V.15. Evolução do número de pedidos de intervenção da população

A importância da contribuição desta dissertação para a implementação do SGA, encontra nos indicadores apresentados e na ausência de dados para outros a sua maior fundamentação. A apresentação de uma metodologia para a construção de indicadores associados aos aspectos ambientais considerados mais relevantes para a actividade de recolha, é um passo fundamental na implementação do SGA e permite o estabelecimento de metas e objectivos a cumprir relacionados com esses indicadores e a consequente melhoria do desempenho ambiental da recolha de RSU.

Os indicadores relativos ao estado do ambiente apresentados, servem principalmente a função de, num SGA, provar que a organização, neste caso a CMA, tem consciência dos principais impactes das suas actividades, neste caso a recolha de resíduos, e a função de divulgar quais as áreas do ambiente afectadas e o seu “desenvolvimento” ao longo do

tempo. Para complementar a informação disponível no Quadro V.5, apresenta-se na Figura V.16 o índice de qualidade do ar para a zona do Concelho em 2005.

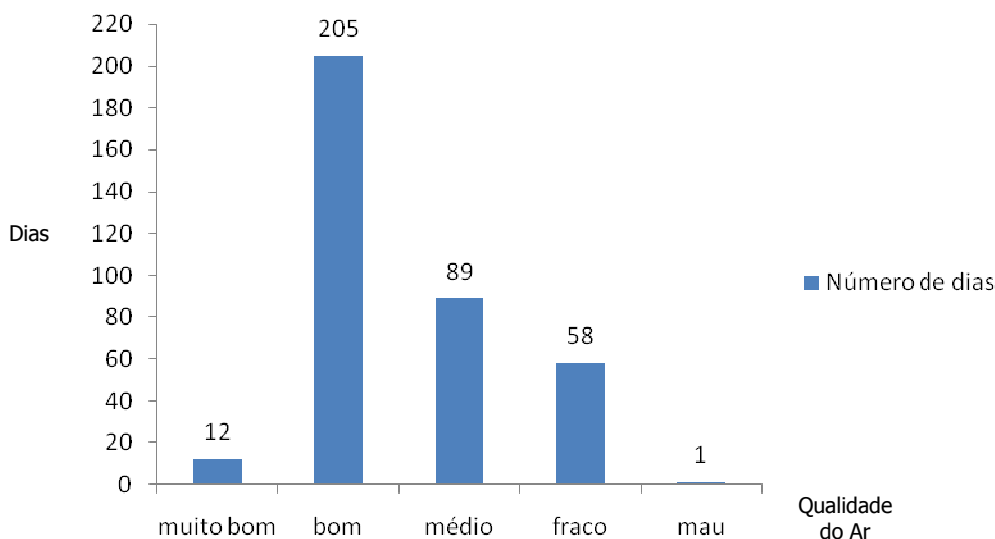


Figura V.16. Índice de Qualidade do Ar para a Área Metropolitana de Lisboa Sul (a) em 2005
(adaptado: APA, 2008)

Relativamente ao processo de optimização, este aparenta ter fracassado quando comparamos os valores de vários indicadores.

São poucos os indicadores que parecem representar benefícios da optimização relativamente à não optimização, nomeadamente as viaturas de recolha ao serviço por dia de recolha, as equipas de recolha ao serviço por dia de recolha e o número de fretes diários para os circuitos e por circuito. A Figura V.17, Figura V.18 e a Figura V.19. apresentam esses indicadores.

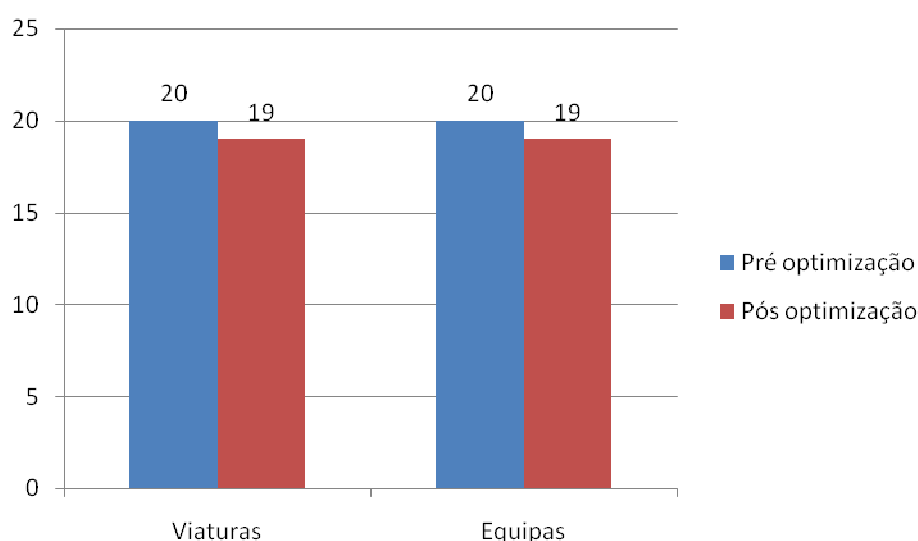


Figura V.17. Número de Viaturas e Equipas necessárias ao cumprimento dos circuitos

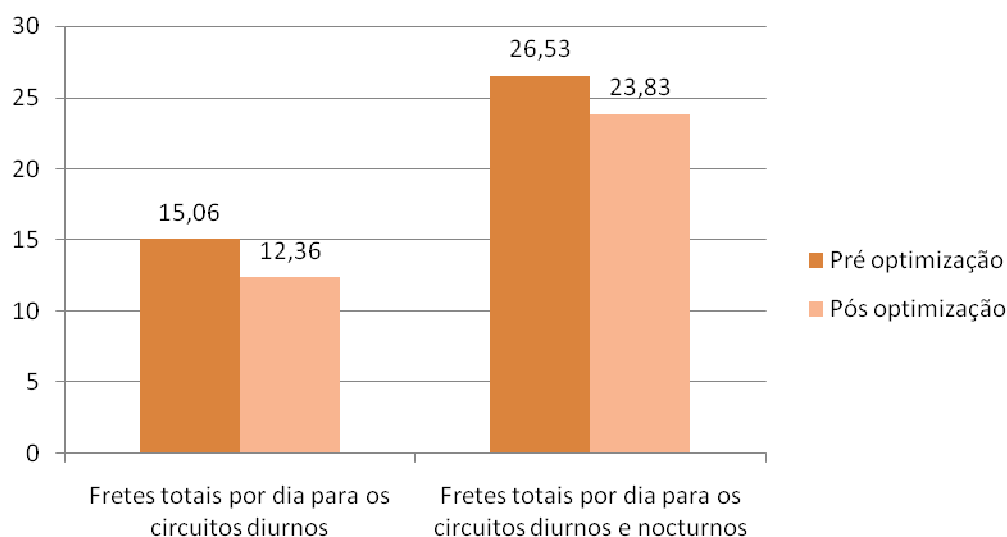


Figura V.18. Número de fretes totais por dia para os conjuntos de circuitos

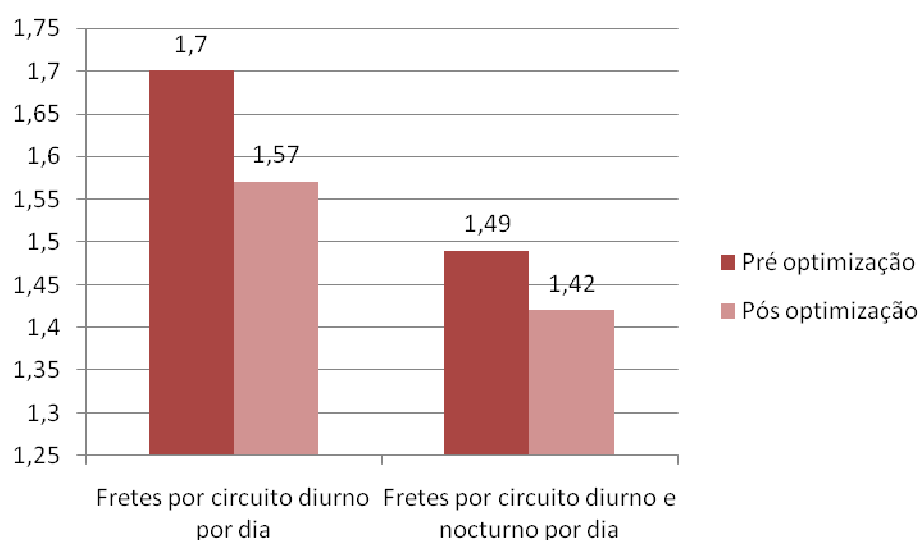


Figura V.19. Número médio de fretes por circuito por dia

O decréscimo no número de viaturas e equipas necessárias para o serviço diário aos circuitos representa a vantagem mais óbvia dos resultados obtidos pelo modelo de optimização. Valores de custos relativos a mudança de lubrificantes, travões, seguros, lavagens, inspecção, pneus, mão-de-obra, amortizações, entre outros poderão diminuir devido à ausência de uma viatura na recolha, levando à redução do custo total da recolha de RSU indiferenciados. No entanto, a ausência de uma viatura nos circuitos pode significar que as restantes tenham mais trabalho, aumentando o custo de manutenção por viatura e o consumo de combustível por viatura. O balanço final da poupança resultante da remoção de uma viatura dos circuitos, no entanto, será positivo.

A poupança resultante do decréscimo do número de equipas partirá, em princípio, não do despedimento de uma equipa, mas, devido à elevada rotatividade do pessoal que

compõe as equipas, da não necessidade de contratação de uma nova equipa. Isso significa que a poupança não corresponderá, em princípio, a uma média do custo por equipa, pois o salário varia consoante a experiência ou escalão dos elementos da equipa. Novamente, apesar das previsões do modelo, existe o risco de a ausência de uma equipa significar mais serviço para as equipas restantes e, como tal, um aumento nas horas extraordinárias a pagar.

Por fim, há que considerar que o objectivo de tentar integrar a recolha dos contentores enterrados nos restantes circuitos de recolha pode reduzir em mais uma viatura e um indivíduo estes indicadores, e os custos associados, não existindo, no entanto ainda indicadores relativos a essa possibilidade ou não.

O decréscimo do número diário de fretes totais (Figura V.18) ou por circuito (Figura V.19) tinha o potencial de reduzir o tempo e a distância totais dos circuitos, ao diminuir o tempo e a distância de transporte e o tempo e a distância percorrida no local de deposição. No entanto, verifica-se que a distância e o tempo totais são mais elevados para os circuitos pós optimização. Além disso, atendendo ao indicador da quantidade de resíduos recolhidos por conjunto de circuitos, verifica-se que o modelo se baseou numa quantidade de resíduos recolhida bastante inferior à que se verificou nos circuitos antes de optimizados (Figura V.20).

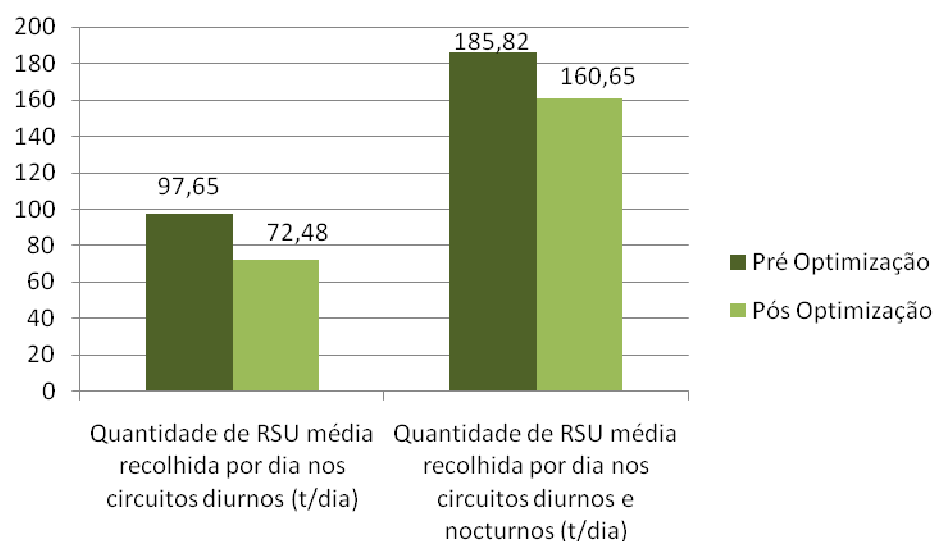


Figura V.20. Quantidade de RSU média recolhida por dia nos circuitos diurnos

Essa diferença de quantidades deve-se a alterações ao número e capacidade de contentores durante o período de optimização e ao método utilizado para distribuir, equitativamente por todos os contentores do sistema, o total de resíduos recolhidos em 2006 segundo a capacidade dos contentores. Isto significa que a quantidade de RSU existentes

nos circuitos diurnos não tem de ser inferior ao que era em 2006, podendo apenas não estar correctamente distribuída pelos circuitos.

Na realidade, a quantidade recolhida não deverá ser tão baixa, o que implicará que a redução no número de fretes não seja tão acentuada como o previsto pelo modelo, e que os resultados de tempo e distância para os circuitos optimizados sejam superiores ao calculado. Devido ao decréscimo da quantidade recolhida nos circuitos pós optimização, a quantidade de RSU média recolhida num dia por homem ao serviço também decresceu, apesar de o número de homens ao serviço ter decrescido com o decréscimo do número de equipas. Para além disso, a quantidade de resíduos removidos por quilómetro total e a quantidade de resíduos removidos por hora de trabalho também decresceram, devido ao decréscimo da quantidade recolhida e ao aumento do tempo e distância totais.

De acordo com os indicadores e os gráficos construídos para o cenário de pós optimização, o tempo total médio diário de recolha e distância total média percorrida por dia, e, conseqüentemente, a razão entre o trabalho médio realizado e o horário normal de uma equipa e o consumo médio diário de combustível, aumentam todos relativamente ao cenário anterior à optimização (Figura V.21, Figura V.22, Figura V.23 e Figura V.24). Por curiosidade, admitindo para os circuitos pós optimizados um consumo de combustível por 100 km percorridos igual ao verificado para 2007, calculou-se ainda o significado desse aumento na distância em termos de consumo de combustível dos circuitos.

Curiosamente o aumento na distância a percorrer é superior ao aumento no tempo médio diário de recolha o que resulta num circuito efectuado a uma velocidade média nos circuitos superior à que se verificava pré optimização (Figura V.25). Um aumento na velocidade deste género pode ter várias explicações. Admitindo que as diferenças verificadas não se deveram a uma incorrecta atribuição das velocidades às vias e dos tempos aos contentores, uma explicação razoável para o aumento da velocidade parece deve-se a uma maior eficiência dos percursos escolhidos pelo Fleetroute para concluir os circuitos.

Os dados relativos aos circuitos para a situação pré optimização não incluem a eventual saída de viaturas de apoio aos circuitos por não estarem atribuídas a nenhum circuito. Isso ignora a distância percorrida por estas viaturas e os seus tempos de recolha, contribuindo para a redução dos tempos e da distância percorrida mantendo, no entanto, relativamente semelhante a velocidade média nos circuitos pré optimização. O aumento da distância nos circuitos pós optimização, devido à necessidade de cumprir a distância que seria cumprida pelas viaturas de recolha mais as de apoio, não leva a aumentos no tempo tão elevados como seria de esperar para uma velocidade constante, pois os percursos escolhidos pelo Fleetroute serão mais adequados que os seguidos nos circuitos pré optimização.

Infelizmente, seriam necessárias informações mais completas acerca dos circuitos originais para confirmar ou rejeitar este raciocínio.

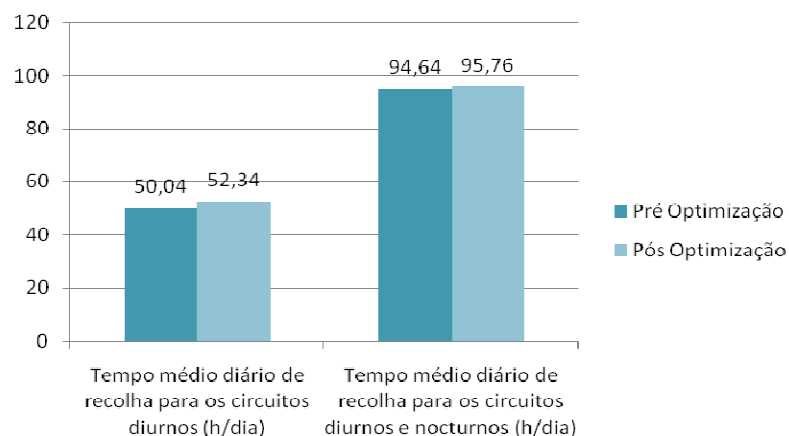


Figura V.21. Tempo médio diário de recolha

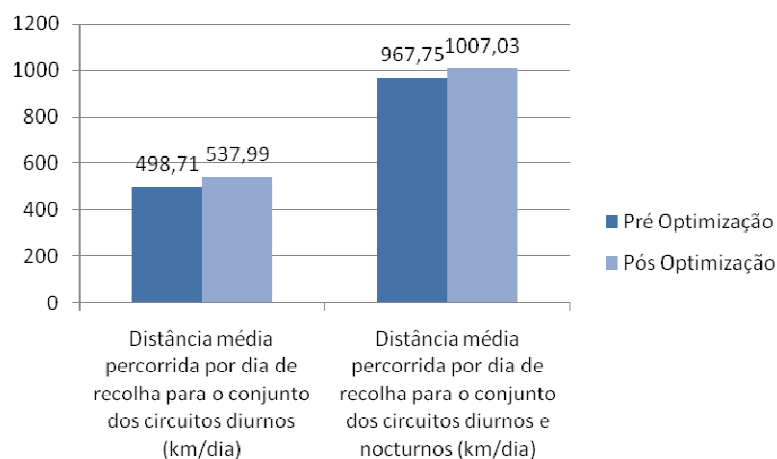


Figura V.22. Distância média percorrida por dia de recolha

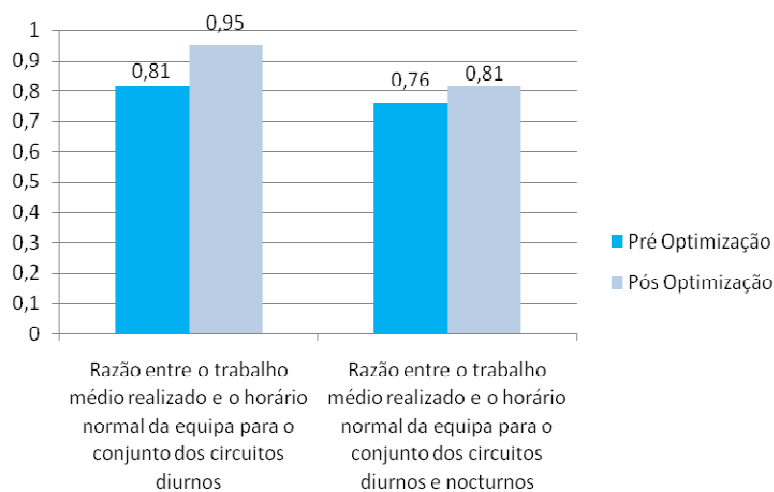


Figura V.23. Razão entre o trabalho médio realizado e o horário laboral de uma equipa de recolha

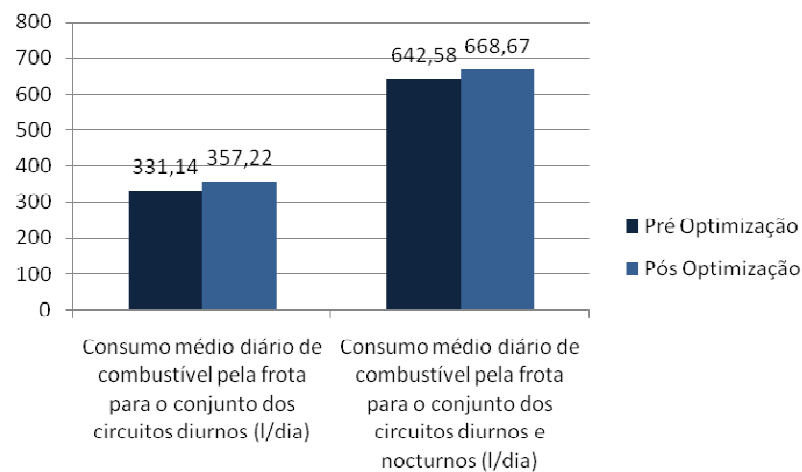


Figura V.24. Consumo médio diário de combustível pela frota de recolha

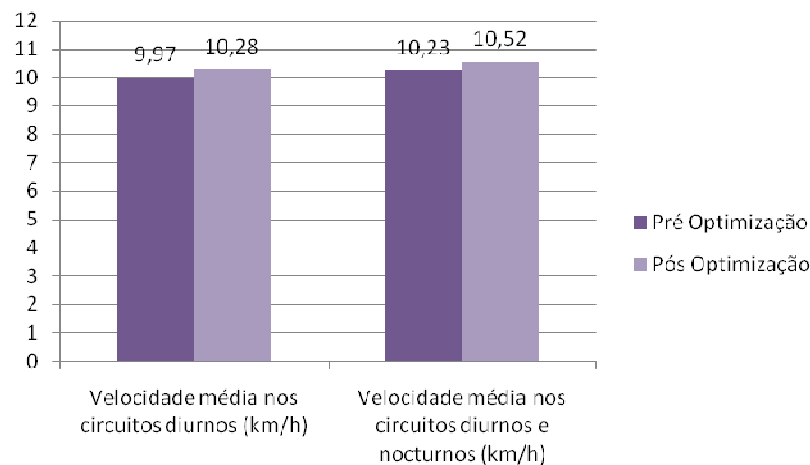


Figura V.25. Velocidade média

Assim, antes de se tirar conclusões acerca dos resultados da optimização de rotas olhando apenas para os tempos de conclusão dos circuitos e distâncias percorridas, tem de se analisar todos os indicadores e ter em conta várias limitações da análise.

A primeira limitação diz respeito à incerteza relativa aos dados dos circuitos pré optimização, devido às trocas de circuitos das viaturas e à possibilidade de existirem viaturas de apoio, não indicadas, que contribuem para os tempos de recolha, quantidades e distâncias reduzidas verificadas. Para além disso, vários circuitos não foram ainda optimizados manualmente pelos analistas, ao nível das rotas ou dos percursos, pelo que se espera obter melhores resultados do que os verificados até ao momento, os quais podem incluir erros no trajecto do Fleetroute para os circuitos.

Finalmente, não podem ser esquecidas as infracções ao código que por vezes se verificam e as quais influenciaram igualmente os tempos dos circuitos pré optimização.

VI.CONCLUSÕES

VI.1. Síntese conclusiva

O projecto que se descreve nesta tese insere-se no contexto de outros projectos apresentados na revisão bibliográfica em termos de âmbito (recolha de RSU) e problema a abordar (optimização de rotas). No entanto, em vez de desenvolver o estudo das características do algoritmo utilizado para a optimização das rotas, como os autores de muitos artigos consultados o fazem, esta tese apresenta-se uma perspectiva inovadora face aos mesmos, descrevendo detalhadamente um projecto de optimização das rotas de recolha de RSU, neste caso aplicado ao município de Almada.

São apresentadas e exploradas as dificuldades encontradas durante a realização do projecto, métodos alternativos para a análise dos vários problemas com que o projecto se deparou, verificações no terreno e análises a efectuar antes da construção das rotas, resultados modelados e indicadores recolhidos tanto ambientais, como caracterizadores dos circuitos ou da sua produtividade, características do programa e características específicas da recolha de RSU no Concelho de Almada.

Para além disso, tenta-se comparar as duas situações de circuitos, pré optimização e pós optimização (em modelo).

Sahoo *et al* (2005) descrevem no seu artigo como a WM (WasteManagement, empresa norte americana de gestão de resíduos) definiu como meta conseguir benefícios para o negócio resultantes da optimização dos seus circuitos, meta que atingiu recorrendo ao Institute of Information Technology e ao WasteRoute. Este software de gestão de circuitos com base em tecnologia SIG reduziu os custo operacionais da WM ao:

- Organizar os circuitos de modo a evitar sobreposições e assim reduzir o número de veículos necessários na recolha;
- E otimizar a sequência das paragens para recolha de resíduos ao longo dos circuitos, de modo a tornar os circuitos o mais eficientes possível em termos de combustível, horários dos motoristas e viagens para descarregar.

Analisando nesta fase os dados e os indicadores relativos às novas rotas construídas recorrendo ao Fleetroute, parece difícil que os resultados obtidos sejam tão positivos como os atingidos pela WM no artigo de Sahoo *et al* (2005). No entanto, prevê-se a redução em um veículo da frota de recolha, e apontaram-se várias razões, relacionadas com limitações na análise, a forma como o programa cria as rotas e a maneira como os circuitos são servidos actualmente, para explicar porque é que os resultados apresentados até ao

momento não são os melhores, não abandonando a possibilidade de que estes possam vir a melhorar face à situação pré optimização.

Já na sua vertente de Gestão Ambiental, preparam-se indicadores relativos à recolha de RSU, adequados para a implementação de um SGA na CMA que abranja esta actividade e que foram construídos tendo em vista a certificação pelo EMAS, respeitando o modelo de organização sugerido pela recomendação da Comissão de 10 de Julho de 2003 para a aplicação do EMAS. Da análise de alguns indicadores que foi possível obter, reconhece-se a importância de desenvolver um SGA que abranja a recolha de RSU do município de Almada.

VI.2. Recomendações e principais limitações

A escolha do *software* utilizado para o processo de optimização representa um passo fundamental no processo de optimização visto que tem uma enorme influência sobre a metodologia utilizada e mesmo sobre os resultados obtidos.

Importa que este seja o mais compatível possível com os *softwares* já utilizados como base de dados ou SIG podendo-se poupar muitos passos na conversão de ficheiros, se esta for sequer possível.

Outra característica a analisar no *software* escolhido, tem a ver com a sua versatilidade e o seu automatismo. No caso do Fleetroute, este oferecia aos analistas uma enorme versatilidade na criação das rotas, mas muitas vezes a custo de automatismo, o que significava perder muito tempo em passos de adaptação do *software* ao problema.

É importante que, após a conclusão do processo de optimização, se responsabilize alguém, com conhecimentos mínimos sobre o programa, para actualizar dados e rotas rapidamente e sem grande dificuldade, de forma a dar uma maior versatilidade de funções aos técnicos responsáveis pelo projecto, lidar melhor com eventuais rotatividades de pessoal e manter as informações do SIG, que servem de base aos circuitos, o mais actualizadas possível. Como se viu ao longo desta dissertação, a desactualização da informação põe em causa os resultados obtidos e obriga a processos demorados de verificação, antes de se poder criar ou alterar rotas. Torna-se essencial que as informações acerca da rede viária ou contentores cheguem, através de um protocolo, às pessoas encarregues de as actualizar periodicamente no SIG.

A utilização de aplicações como o Fleetroute ou Wasteroute, na optimização de circuitos, leva a alterações na forma como as pessoas são servidas pelo sistema de gestão de resíduos e pode requerer uma alteração na forma como participam no sistema (*e.g.* dias diferentes para a colocação do contentor na rua, no caso de recolha porta-a-porta). Como salientam Sahoo *et al*, 2005, não é fácil fazer com que os utentes de um serviço de recolha

de RSU alterarem os seus hábitos e um fracasso nesse objectivo pode significar igualmente o fracasso de todo o projecto.

Adicionalmente, quando as empresas ou autarquias adquirem *software* de optimização de rotas, os colaboradores que têm de utiliza-lo tendem a adoptar uma postura defensiva, quanto a terem de alterar a maneira como executam as suas funções. Sahoo *et al*/ (2005) explicam resumidamente que a WasteManagement, empresa para a qual executavam o projecto, elaborou um plano de comunicação pró-activa de modo a fortalecer a confiança entre gestores e colaboradores que incluía os colaboradores em todas as fases do projecto.

O acompanhamento do desenvolvimento do projecto de optimização na CMA, permitiu constatar, principalmente por parte das equipas de recolha, a postura defensiva relativa ao projecto de optimização. Muitos dos trabalhadores da CMA não acreditavam que o projecto fosse alguma vez implementado devido à morosidade do processo. As primeiras verificações e saídas de campo com as equipas também não ajudaram a motivar a implementação da optimização. Para além do tempo que as equipas demoraram para completar o circuito ter sido muito elevado, houve muitas críticas relativamente às opções tomadas pelo Fleetroute, pois as equipas não acreditavam que fossem mais rápidas, achavam que eram desnecessariamente complicadas de seguir e decorar, depararam-se com obstáculos devido a desactualização das vias e dos contentores, e serviram ruas a subir que habitualmente serviam a descer.

De notar, no entanto, que estas primeiras saídas de campo não tinham como objectivo validar rotas completamente desenvolvidas, mas antes testar variáveis como tempo de recolha, quantidade recolhida, situação das vias e contentores, ruas que se tinham de fazer necessariamente em determinado sentido ou de servir apenas o sentido em que a viatura seguia. Ainda assim, devido às reclamações decidiu-se, a partir de determinada altura, excluir as equipas da fase de verificações das vias e contentores, o que pode ter prejudicado especialmente a variável correspondente à quantidade produzida de RSU por circuito, visto que não podia ser verificada com exactidão de outra forma. A verificação final dos circuitos antes da implementação terá de ser feita em conjunto com as equipas de recolha, e provavelmente a verificação de incoerências entre o modelo e a realidade relativas à quantidade de RSU produzida vão obrigar à criação de novos circuitos antes da implementação final.

Relativamente à análise a fazer relativa aos contentores enterrados, apesar de não se poderem apresentar considerações finais quanto à maneira como estes serão recolhidos, há uma observação relevante a apresentar. Uma lacuna verificada no Fleetroute relaciona-se com a sua incapacidade para atribuir correctamente os veículos aos contentores que estes podem realmente transportar, apesar de um dos campos da tabela do veículo distinguir

entre vários tipos de veículos. Se, por exemplo, colocarmos um contentor enterrado no meio de contentores de superfície e lhes atribuirmos uma viatura que não recolhe contentores enterrados, o programa vai ignorar o tipo da viatura e vai fazer com que esta recolha o contentor enterrado juntamente com os de superfície. Isto obriga a que, ou a viatura que recolhe contentores enterrados esteja bem colocada na vista do Fleetroute, de modo a que apenas pela posição o Fleetroute a atribua aos contentores correctos, ou a que durante a fase de edição das rotas o analista atribua os contentores enterrados a essa viatura. Outra opção é lidar com esses contentores individualmente criando um circuito específico, como se fazia antes da optimização. Para além do mais, esta característica impede a construção de circuitos de moloks em simultâneo com outros contentores. A viatura de moloks seria provavelmente atribuída a vários outros contentores, que não tem a capacidade de recolher, durante o processo de criação dos circuitos.

O trajecto para o aterro, quando considerado no Fleetroute, tem uma pequena particularidade. No Fleetroute a paragem no aterro é uma paragem que ocorre quando o veículo está cheio e tem de descarregar, estando caracterizada por um ponto geográfico no qual, em vez de ganhar carga, o veículo perde toda a carga. Isso faz com que o programa tenha em conta o tempo perdido no percurso para lá, mas que considere, para qualquer veículo, o mesmo tempo de descarga e deslocação no interior das instalações e não considere a distância percorrida. No entanto, o Fleetroute dá-nos também a opção de o veículo efectuar a viagem para o aterro antes de este estar completamente cheio. Esta opção, quando activa, faz com que o veículo, no caso de ter de efectuar pelo menos dois fretes, escolha ir ao aterro, não quando está cheio, mas quando se localiza num ponto óptimo, isto é, mais próximo do aterro e que no entanto não signifique fazer uma viagem extra para descarregar.

Para melhor compreender a situação, imagine-se um veículo de capacidade 2.000 kg a servir um circuito que produz 3.000 kg de resíduos. Em situação normal o veículo recolheria contentores até atingir o seu limite máximo, 2.000kg, altura em que iria a aterro descarregar. Com a opção de optimização da ida ao aterro activada, o veículo pode, em qualquer altura, entre os 1.000 kg e os 2.000 kg de carga, interromper o seu percurso e dirigir-se a aterro caso o sistema ganhe tempo com isso, devido à proximidade do veículo ao local de descarga. Depois de descarregar voltaria ao circuito no ponto mais benéfico, em termos de tempo, para continuar o serviço.

No caso da aplicação ao município de Almada, no entanto, optou-se por não utilizar essa função do Fleetroute devido ao risco de, se não houver uma ideia bastante exacta acerca da produção de resíduos do circuito, partir para a descarga antes de o veículo estar cheio, o que pode significar viagens extra para descarregar. Não esquecer que a carga para

cada circuito foi admitida com base numa divisão equitativa do total de resíduos recolhidos pelo sistema durante um ano. Esta suposição tem a fraqueza de não ter em conta que em certos circuitos, servidos com contentores idênticos, uns possam ter uma taxa de enchimento superior a outros.

A pausa para almoço dos motoristas frequentemente não é considerada na literatura. Pode existir a tentação de simplesmente ignorá-la durante o processo de optimização, inserindo o período de pausa após a resolução do problema. No entanto, tal deve ser evitado pois ter em conta o local onde se faz o almoço pode permitir optimizar a viagem até ao local e os pontos onde se interrompe e reinicia a recolha (Kim *et al.*, 2006).

No caso do município de Almada, faz todo o sentido ter em conta este aspecto nos circuitos nocturnos pois as equipas são obrigadas a dirigir-se ao estaleiro para fazerem a pausa. Adivinham-se dificuldades nisso pois o Fleetroute não permite a atribuição de janelas temporais (*time windows*) aos pontos, apenas a definição de pontos mais ou menos prioritários. Nos circuitos diurnos, no entanto, não existe nenhum local para onde as equipas sejam obrigadas a dirigir-se para fazer a pausa, como tal, e apesar de muitas equipas terem a preferência por um estabelecimento em particular, optou-se por não optimizar este factor de forma a respeitar esta liberdade e acrescentar apenas o tempo de pausa regulamentar de 30 minutos. O tempo e a distância até ao local onde fazem a pausa, que também são cedidos pela CMA como parte da pausa, não foram considerados mas esse tempo pode ser assumido como parte do tempo não útil previsto pelo Fleetroute. O Fleetroute admite uma coluna denominada "outros tempos" onde inclui 30 minutos de pausa para refeição, 10 minutos de preparações para começar o circuito e 10 minutos para terminar, 12 minutos no aterro, por viagem, e mais algum tempo (11 minutos e 56 segundos, no caso de o circuito ter só um frete, ou 23 minutos e 56 segundos, no caso de o circuito ter dois fretes) que incluirá outros imprevistos que atrasam o circuito (outras pausas, trânsito, semáforos, etc.).

A obtenção de dados para a análise de indicadores não foi tarefa fácil. Eram muito poucos os dados que se encontravam já agregados e aqueles que se encontravam nessa forma referiam-se muitas vezes a Divisões da CMA inteiras, sendo difícil, ou mesmo impossível, extrair as informações específicas relativas à recolha de RSU indiferenciados. Por exemplo, as informações que foram recolhidas acerca dos resíduos produzidos na manutenção abrangiam todos os veículos da CMA sujeitos à manutenção, não havendo uma segmentação relativa aos resíduos produzidos devido à manutenção da frota de recolha de RSU. Vários dados, particularmente os relativos a custos, não foram disponibilizados por opção dos responsáveis das Divisões da CMA. Para além disso, os dados relativos aos antigos circuitos também estão associados a alguma incerteza devido à associação entre

viatura e circuito não ser muitas vezes respeitada e não se ter em conta outras viaturas que prestam apoio sem estar associadas a qualquer circuito.

Por fim, o tempo disponível para elaborar a dissertação representou limitações ao conteúdo, que não incluiu a implementação dos circuitos diurnos nem a optimização dos restantes circuitos de recolha de RSU indiferenciados. Para além disso, não se abordou nesta dissertação outras questões de possível interesse e que serão referidas no capítulo seguinte. No entanto, o projecto de optimização das rotas da recolha de RSU indiferenciados já tem alguns anos, e o Fleetroute há já mais de 1 ano que estava disponível na CMA, antes do início do estágio. A quase conclusão da optimização do circuito 16 e o avançado desenvolvimento dos circuitos diurnos traduziu-se numa tarefa exigente para o período relativo ao estágio na CMA, e representa um grande avanço no projecto de optimização, sendo difícil para o período de duração do estágio, e com a elaboração em simultâneo da dissertação, ir além dos objectivos atingidos neste trabalho.

VI.3. Desenvolvimentos futuros

Está definida a meta de, até ao final do ano de 2008, os circuitos de recolha de RSU diurnos, incluindo o circuito 16, se encontrarem completamente optimizados e implementados. Espera-se ainda que se consiga integrar a recolha de contentores enterrados nos circuitos diurnos e, mais tarde, nos circuitos nocturnos, consoante a proximidade de cada contentor enterrados aos circuitos diurnos ou nocturnos. Um estudo efectuado no final dessas fases, utilizando os indicadores construídos nesta dissertação, permitiria ter uma noção mais real das potencialidades da optimização, visto não se estar a basear unicamente em resultados obtidos da modelação e que não tiveram uma verificação final no terreno.

Um outro estudo de acompanhamento, do mesmo género que o que foi utilizado neste trabalho, pode ser aplicado à construção e implementação dos circuitos nocturnos, permitindo considerar novas variáveis que possam surgir e que não surgiram durante a análise de contentores diurnos e, para além disso, permitindo abranger e aplicar os indicadores construídos para a caracterização de circuitos a todo o projecto de optimização de circuitos de recolha de RSU no Concelho de Almada.

Após a definição de uma arquitectura para os indicadores de desempenho ambiental que podem ser utilizados para implementar o EMAS, levada a cabo neste trabalho, importa saber qual a situação da recolha de RSU indiferenciados para os indicadores que não foi possível calcular. Assim, a recolha e organização da informação e atribuição de valores aos indicadores construídos segundo a recomendação da Comissão de 10 de Julho de 2003 para

a aplicação do EMAS, poderá representar mais um impulso positivo em direcção à implementação de um SGA e certificação pelo EMAS.

Durante a elaboração deste trabalho foi possível observar vários sistemas de recolha de RSU indiferenciados, mas o sistema de recolha por pontos é aquele que predomina na recolha selectiva no Concelho de Almada. Infelizmente o tempo disponível não permitiu uma análise que integrasse a recolha selectiva e a recolha indiferenciada, no entanto aparenta ser de relevância estudar a influência da recolha selectiva sobre a produtividade dos circuitos de recolha indiferenciada. Também seria interessante analisar o problema pela perspectiva inversa. Isto é, consoante o tipo de recolha indiferenciada, qual seria a produtividade do sistema de recolha selectiva? É possível que uma zona abrangida por recolha indiferenciada porta-a-porta não tenha o mesmo comportamento, em termos de recolha selectiva, que tem uma zona abrangida por recolha indiferenciada por pontos. Seria interessante verificar isto com dados do terreno para zonas que não diferissem muito noutros factores condicionantes do comportamento da população relativo à participação na separação dos resíduos.

Estas questões e as restantes apresentadas neste subcapítulo ficam como sugestões para investigações futuras.

VII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarsul (2002). *Composição física de RSU do fluxo global*. Amarsul. Disponibilizado pela Câmara Municipal de Almada.
- Amarsul (2008). *Recolha Selectiva Almada 2007*. Amarsul. Disponibilizado pela Câmara Municipal de Almada.
- Antunes, P. (1997). *Indicadores de Qualidade de Vida em Meio Urbano e Sistemas de Informação Geográfica: Uma Aplicação no Concelho de Almada*. Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- APA (2008). *Dados estatísticos de embalagens e resíduos de embalagens* [online]. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Residuos/fluxresiduos/ERE/Documents/Situa%C3%A7%C3%A3o%20de%20Refer%C3%Aancia.pdf> [Consultado a 10/9/2008]
- APA, QualAr (2008). Bases de dados sobre qualidade do ar [online]. Disponível em: www.qualar.org [Consultado a 18/9/2008]
- CMA (1997). *Estudo sobre a optimização dos circuitos nocturnos*. Grupo de trabalho da recolha hermética, Departamento de Ambiente, Câmara Municipal de Almada.
- CMA (2008a). *Matriz de Factores a Analisar nos Pareceres Técnicos*. Departamento de Salubridade, Espaços Verdes e Transportes, Câmara Municipal de Almada.
- CMA (2008b). *Informação retirada da base de dados SIG da Câmara Municipal de Almada*, Câmara Municipal de Almada.
- CIVIX (2004). *Fleetroute* [online]. CIVIX L.L.C. Disponível em: www.fleetroute.com [Consultado a 23/9/2008]
- CIVIX (2006). *Fleetroute - User Manual and Base Documentation*. Freiburg: CIVIX L.L.C.
- Colaço, P. (2003). *Levantamento e tratamento de dados para a optimização dos circuitos de recolha de RSU no Concelho de Almada*. Relatório de Estágio. Câmara Municipal de Almada.
- Diário da República (2004). *Portaria nº 209/2004 de 3 de Março* [online]. Diário da República. Disponível em: dre.pt [Consultado a 1 de Setembro de 2008].
- Diário da República (2006). *Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro* [online]. Diário da República. Disponível em: dre.pt [Consultado a 1 de Setembro de 2008].
- El-Hamouz, A. (2008). Logistical management and private sector involvement in reducing the cost of municipal solid waste collection service in the Tubas area of the West Bank. *Waste Management*, 28, 260-271.
- EMAS4NewStates (2007). *EMAS for Municipalities – Implementation Guide for the Step by Step Cluster Approach*. Innovative approach in EMAS II implementation in the local authorities of new member states (EMAS4NewStates)
- EMAS LAB (2008). *EMAS LAB – Sistema de Ecogestão e Auditoria Ambiental para a definição de Metas Ambientais de Referência para Autoridades Locais* [online]. Almada, Câmara Municipal de Almada. Disponível em: <http://www.m-almada.pt/emas-lab/> [Consultado a 25/3/2008]

- ESRI (2005). *ArcGIS 9 – What is ArcGIS 9.1?*. United States of America: ESRI.
- Freitas, C. (2008). *Estratégia local de desenvolvimento em Almada: um exemplo da intervenção local* [Projecção Visual]. Monte da Caparica: DEGAS - CMA, 2008. 58 diapositivos: color.
- Gaspar, J. A. (2004). *Dicionário de Ciências Cartográficas*. Lisboa: Lidel.
- Global Environment & Technology Foundation (2000). *Final Report: The US EPA Environmental Management System Pilot Program for Local Government Entities*. Annandale: Global Environment & Technology Foundation (GETF).
- González-Torre, P. L.; Adenso-Díaz, B. (2005). Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. *Waste Management*, 25, 15-23.
- INE (2001). *Censos 2001*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: www.ine.pt [Consultado a 25/3/2008]
- INE (2007). *Anuário Estatístico de Portugal 2006*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, (ISSN 0871-8741).
- INE (2008). *Dados Estatísticos* [online]. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística. Disponível em: www.ine.pt [Consultado a 25/3/2008]
- ISO (2005). *Sistemas de gestão ambiental – Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização*. Genebra: ISO, ISO 14001:2004.
- ISO (2006). *Gestión ambiental – Evaluación del desempeño ambiental – Directrices*. Ginebra: ISO, ISO 14031:1999.
- Jirillo, R.; Rocchi, A.; Martucci, O. (2003). EMAS and its local diffusion in Italy. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 10, 40-49.
- Karadimas, N.; Papatzelou, K.; Loumos, V. (2007). Optimal solid waste collection routes identified by the ant colony system algorithm. *Waste Management & Research*, 25, 139-147.
- Keller, R. (1973). Computerized optimization and planning in solid waste management. *Jones & Henry Engineers Limited*, 424-427.
- Kim, B.; Kim, S.; Sahoo, S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 33, 3624-3642.
- Levy, J.; Cabeças, A. (2006). *Resíduos Sólidos Urbanos: Princípios e Processos*. Lisboa: AEPSA.
- Li, Y.; Huang, G.; Yang, Z.; Nie, S. (2008). An integrated two-stage optimization model for the development of long-term waste-management strategies. *Science of Total Environment*, 392, 175-186.
- Martinho, M.G. (1998). *Factores determinantes para os comportamentos de reciclagem. Caso de estudo: sistema de vidrões*. Dissertação de doutoramento apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Martinho, M.G.; Gonçalves, M.G. (2000). *Gestão de Resíduos*. Universidade Aberta.
- Meyers, G.; McLeod, G.; Anbarci, M. (2006). An international waste convention: measures for achieving sustainable development, *Waste Management & Research*, 24, 505-513.
- Mileu, B. (1996). *Alterações das Zonas de Recolha Diurnas e Nocturnas*. Câmara Municipal de Almada.
- Moreira, A. R. (2008). *Análise de circuitos de recolha de RSU indiferenciados e avaliação da influência de variáveis operacionais na produtividade dos circuitos*. Dissertação apresentada na Faculdade

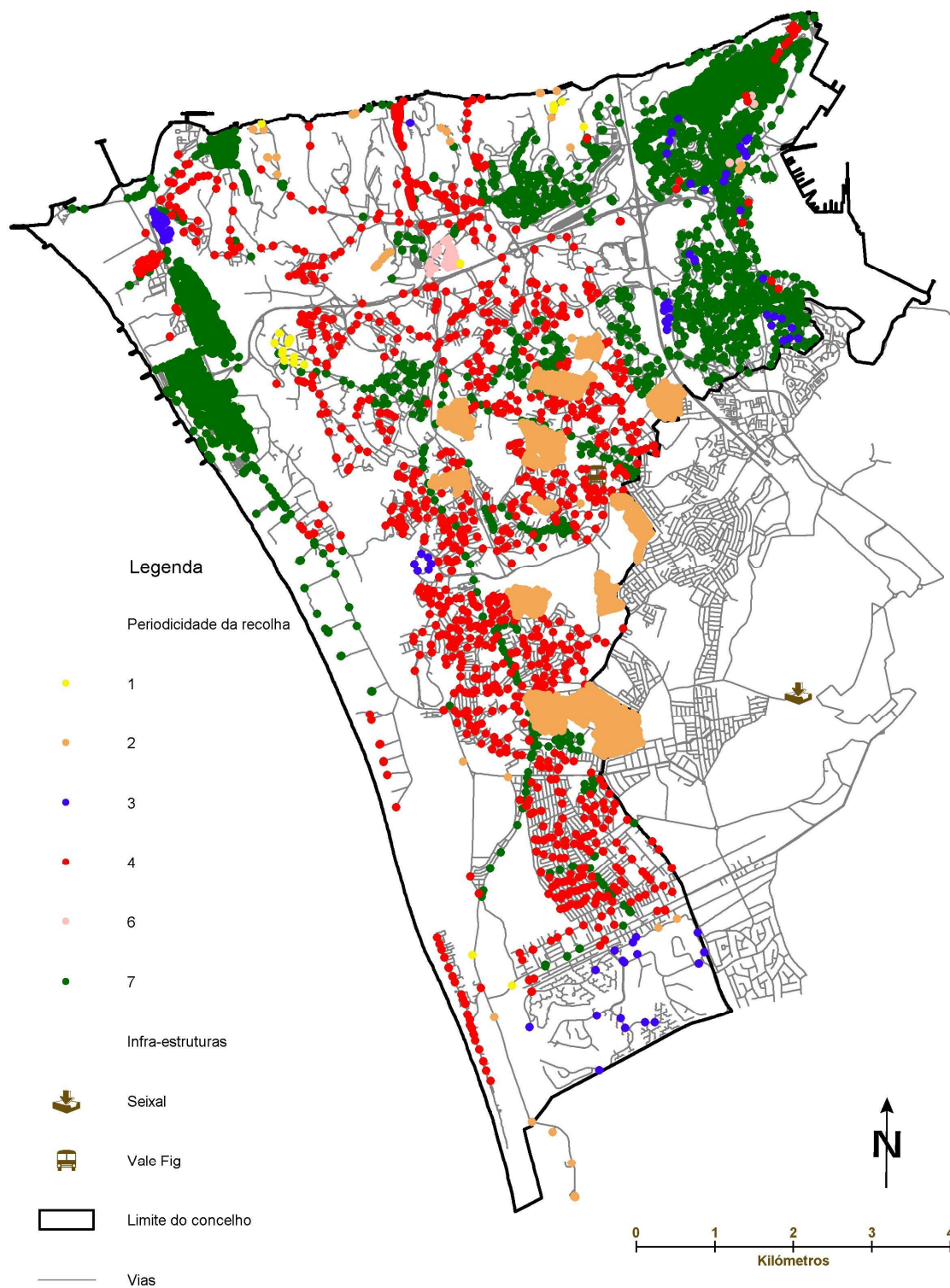
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.

- ONU (2005). *Agenda 21* [online]. ONU. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm> [Consultado a 9/9/2008]
- Pereira, L. (2005). *Avaliação das condições de segurança e saúde dos trabalhadores dos sistemas de gestão de resíduos urbanos*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para Obtenção do Grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais.
- Pinto, A. (2005). *Sistemas de Gestão Ambiental: Guia para a sua Implementação*. Lisboa: Edições Sílabo.
- Rhyner, C.; Schwartz, L.; Wenger, R.; Kohrell, M. (1995). *Waste Management and Resource Recovery*. Lewis Publishers. Estados Unidos da América, 65-107.
- Rizzoli, A.; Montemanni, R.; Lucibello, E.; Gambardella, L. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems – from theory to applications. *Swarm Intell*, 1, 135-151.
- Sahoo, S.; Kim, S.; Kim, B.; Kraas, B.; Popov, A. (2006). Routing Optimization for Waste Management. *Interfaces*, 35, 24-36.
- Santos, R. F.; Santana, F.; Antunes, P.; Martinho, M. G.; Jordão, L.; Sirgado, P.; Neves, A. G. (1994). *Análise da Estrutura de Custos do Sistema de Resíduos Sólidos do Município de Lisboa*. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Sbihi, A.; Eglese, R. (2007). Combinatorial Optimization and Green Logistics. *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, 5, 99-116.
- Shaw, P. (2007). Nearest neighbor effects in kerbside household waste recycling. *Resources Conservation & Recycling*, 52, 775-784.
- Silva, M. (2005). *Indicadores de Produção e Reciclagem de RSU Factores Determinantes na Produção e Reciclagem de RSU*. Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Sniecek, J.; Bodin, L. (2006). Using mixed integer programming for solving the capacitated arc routing problem with vehicle/site dependencies with an application to the routing of residential sanitation collection vehicles. *Annals of Operations Research*, 144, 33-58.
- Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management*. McGraw-Hill International Editions.
- Timlett, R.; Williams, I. (2007). Public participation and recycling performance in England: A comparison of tools for behavior change. *Resources Conservation & Recycling*, 52, 622-634.
- UE (1994). *Directiva 94/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Dezembro de 1994* [online]. União Europeia. Disponível em: eur-lex.europa.eu [Consultado a 1/9/2008].
- UE (2001). *Regulamento (CE) nº 761/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Março de 2001*. Comissão Europeia, (C(2003) 2253).

- UE (2003). *Recomendação da Comissão Europeia de 10 de Julho de 2003 relativa a orientações para a aplicação do Regulamento (CE) nº 761/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho*. Comissão Europeia, (C(2003) 2253).
- UE (2004). *Directiva 2004/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro de 2004* [online]. União Europeia. Disponível em: eur-lex.europa.eu [Consultado a 1 de Setembro de 2008].
- UE (2005). *Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e social Europeu e ao Comité das Regiões – Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos*. Comissão Europeia, (COM(2005) 666).
- Vicente, P.; Reis, E. (2007). Segmentating households according to recycling attitudes in a Portuguese urban area. *Resources Conservation & Recycling*, 52, 1-12.

VIII. ANEXOS

VIII.1. Anexo 1 – Mapa das periodicidades de recolha dos contentores (CMA, 2008b)



VIII.2. Anexo 2 - Tipos de contentores utilizados na recolha de indiferenciados em Almada



A – Contentores Colectivos (800l)

B – Contentor Colectivo (1.000l)

C – Contentores Individuais Utilizados na Recolha Porta-a-porta (esquerda 120 l, direita 240 l)

D – Contentores Enterrados (3.000l)

E – Contentor Semi-enterrado ou Molok (5.000l)

F – Contentores de 15.000 l

VIII.3. Anexo 3 - Tipos de viaturas utilizadas na recolha de indiferenciados em Almada



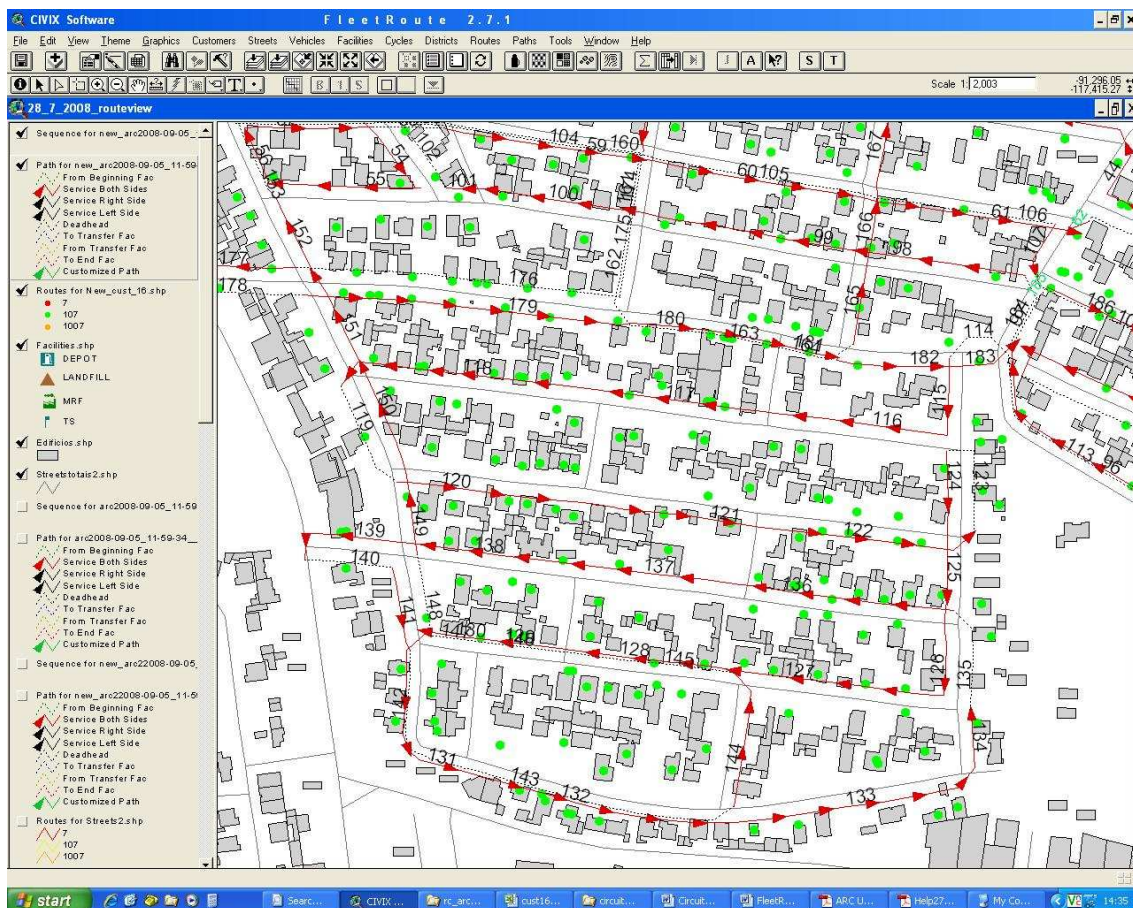
A – Viatura de Placa

B – Viatura de Cilindro Rotativo

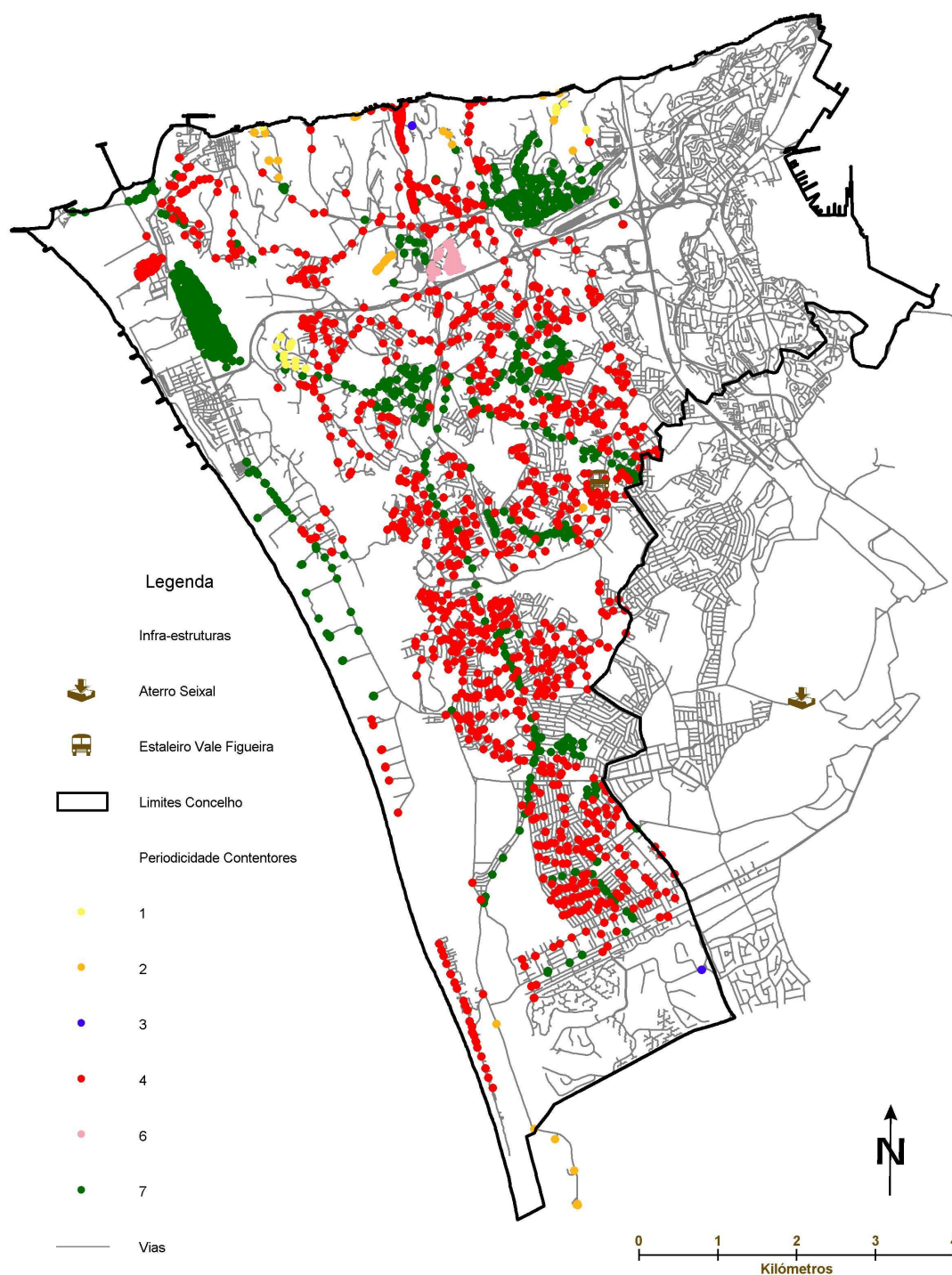
C – Viatura de Placa com Guindaste para a Recolha de Contentores Enterrados

D – Viatura Amplirol para a Recolha de Contentores Molok ou Caixas

VIII.4. Anexo 4 – Percurso otimizado a seguir numa parte do sub-circuito 107 (amarelo), correspondente ao Pinheirinho na freguesia da Charneca de Caparica, indicado por setas e números



VIII.5. Anexo 5 – Periodicidade de recolha dos contentores dos circuitos diurnos (CMA, 2008b)



VIII.6. Anexo 6 – Exemplo de um relatório criado pelo Fleetroute

VIII.7. Anexo 7 – Exemplo de um percurso criado pelo Fleetroute

